

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université de Ghardaia**



**Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre**

**Département de Biologie**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Filière : Ecologie et environnement**

**Spécialité : Ecologie**

**Par : RAHMOUNI Yousra Lynda et GUETTAI Safaa**

**Thème**

**Qualité des eaux souterraines utilisées pour l'irrigation dans la  
commune de Daya Bendahoua-wilaya de Ghardaïa-**

Soutenu publiquement, le / /2022 , devant le jury composé de :

Mme HEDDAD Soumia	MCA	Univ. Ghardaïa	Président
Mr NEGAIS Hamza	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
Melle BENHEDID Hadjira	MCB	Univ. Ghardaïa	Directeur de mémoire
Mr ACHOUR Mansour	Doctorant	Univ. Oran	Co-directeur de mémoire

**Année universitaire : 2021 2022**



## *Remerciement*

*Tout d'abord, avec la grâce d'Allah et sa volonté qui nous  
avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la  
réalisation de ce travail.*

*On tient à remercier mademoiselle BENCHEDID Hadjira  
Maître de conférences B à l'université de Ghardaïa et Mr  
ACHOUR Mansour d'avoir accepté de nous encadrer sur ce  
thème et pour son attention de suivi ce travail et leurs  
orientations afin d'évaluer ce travail.*

*On tient aussi, à remercier les membres de jury  
Mme Heddad Soumia*

*Maître de conférences A à l'université de Ghardaïa et Mr  
Negais Hamza Maître assistant A à l'université de  
Ghardaïa d'accepter d'examiner  
notre recherche Nous tenons à remercier*

*On tient à remercier toute l'équipe travaillante à l'ADE.*



## **DEDICACE**

*Je dédie ce travail à mon père et ma mère pour leurs sacrifices et leurs Patiences, en m'aidant matériellement et moralement Pour aller vers un avenir meilleur.*

*A tous, mes chères sœur& mes frères.*

*A tous ma grande Famille Guettai et Zerrouki.*

*A mas très chère binôme Yousra.*

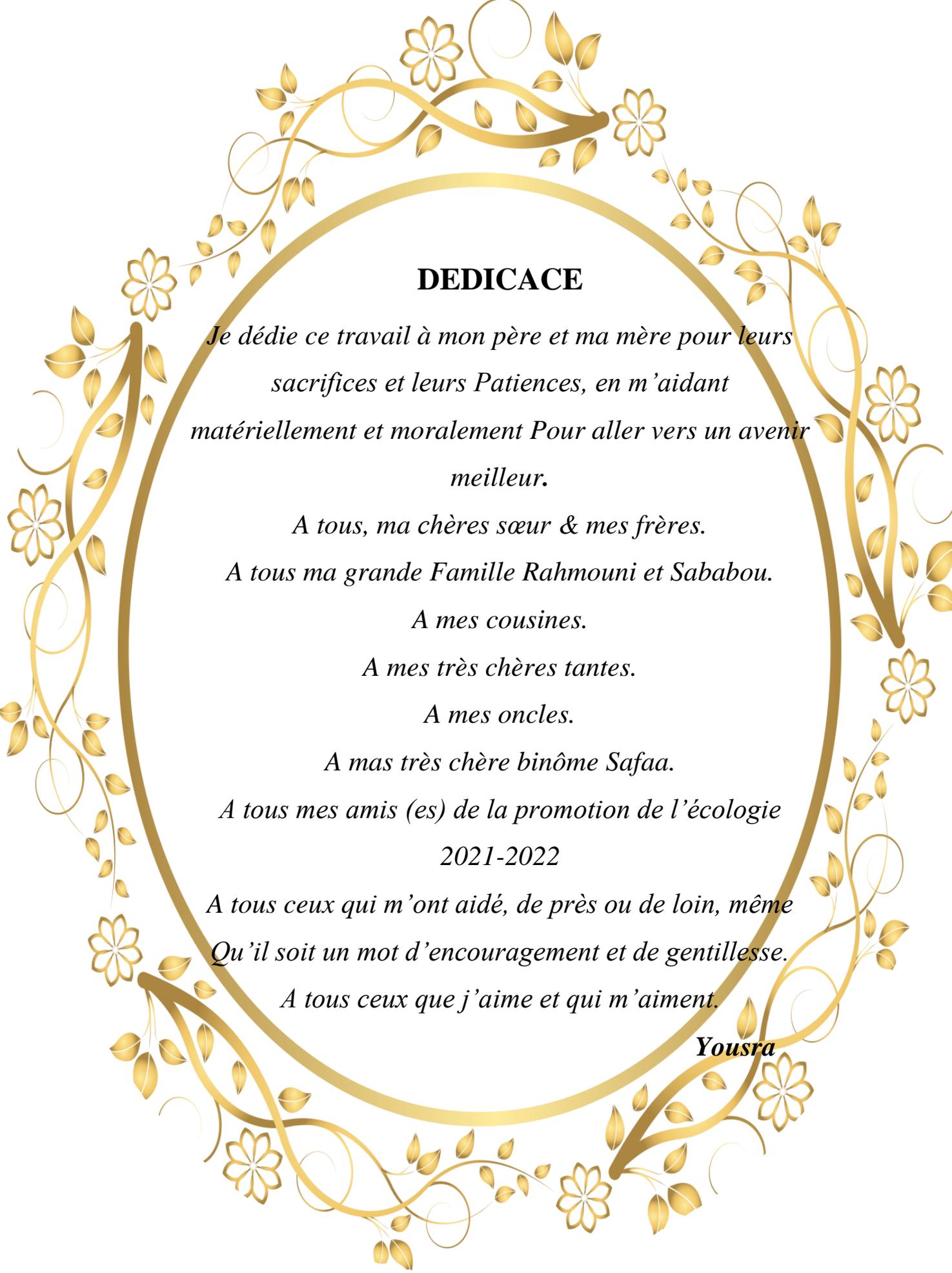
*A mes meilleurs amis :Keauther.*

*A tous mes amis (es) de la promotion de l'écologie  
2021-2022*

*A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin,  
même*

*Qu'il soit un mot d'encouragement et de  
gentillesse.*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*



## DEDICACE

*Je dédie ce travail à mon père et ma mère pour leurs sacrifices et leurs Patiences, en m'aidant matériellement et moralement Pour aller vers un avenir meilleur.*

*A tous, ma chères sœur & mes frères.*

*A tous ma grande Famille Rahmouni et Sababou.*

*A mes cousines.*

*A mes très chères tantes.*

*A mes oncles.*

*A mas très chère binôme Safaa.*

*A tous mes amis (es) de la promotion de l'écologie*

*2021-2022*

*A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même*

*Qu'il soit un mot d'encouragement et de gentillesse.*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

**Yousra**

## ملخص

يركز عملنا على دراسة جودة المياه الجوفية المستخدمة في الري في بلدية ضاية بن ضحوة بولاية غرداية خلال فترة شتاء 2022. ويتمثل منهجنا في دراسة الجودة الفيزيائية - الكيميائية و البكتريولوجية لهذه المياه من أجل مقارنة هذه النتائج بالمعايير التي وضعها الاتحاد الأوروبي للمياه والفاو والجزائر للري وتحديد تصنيف هذه المياه. هذه عينات من مياه الآبار من مواقع مختلفة في هذه البلدية، بئر بوبريك، بئر سيدي عبد القادر، بئر شعبة الحمراء وفم واد العديرة.

أجريت التحليلات على هذه العينات في مختبر ADE في غرداية عن طريق قياس الخواص الفيزيائية الكيميائية و البكتريولوجية. بعد ذلك مقارنة بمعايير REUE ومعايير الري في منظمة الأغذية و الزراعة، و الجزائر. تظهر النتائج الفيزيائية والكيميائية الرئيسية لدراستنا أن معظم مياه الآبار التي تمت دراستها رديئة النوعية وغير متوافقة مع معايير الري في الجزائر و REUE ومنظمة الأغذية والزراعة. لقد تجاوزت مياه الدراسة معايير بعض المعلمات مثل الموصلية والمغنيسيوم والكلوريد والكبريتات. بالنسبة لنتائج التحليلات الميكروبيولوجية للقولون الكلي والبرازي، أظهرت النتائج تواجد هذه البكتيريا في P3 و P4 .

**الكلمات المفتاحية:** الآبار، التحليل الفيزيائي الكيميائي والبكتريولوجي، ضاية، غرداية.

## Résumé

Notre travail s'intéresse à l'étude de la qualité des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation dans la commune de Daya Bendahoua wilaya de Ghardaïa durant la période d'hiver 2022. Notre approche méthodologique est d'étudier la qualité physico-chimique et bactériologique de ces eaux afin de comparer ces résultats avec les normes de REUE, FAO et les normes algériennes et de déterminer la classification de ces eaux.

Il s'agit d'un échantillonnage de l'eau des puits à partir de différentes localisations dans cette région, puits de Boubrik, puits de Sidi abd elkader, Puits de Shaba elhamra et puits de l'embouchure de Oued Laadira.

Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons au sein du laboratoire de l'ADE de Ghardaïa en mesurant les paramètres physicochimiques et bactériologiques. Après avoir comparé avec les normes de REUE, FAO et les normes Algériennes de l'irrigation

Les principaux résultats physico-chimiques de notre étude montrent que la plupart des eaux des puits étudiés sont de mauvaise qualité et non compatibles aux normes d'irrigation d'Algérie et de REUE et FAO. Les eaux étudiées ont dépassé les normes de certains paramètres telles que la conductivité, le magnésium, le chlorure et le sulfate. Concernant les résultats des analyses microbiologiques des coliformes totaux et fécaux, streptocoque fécal, les résultats ont montré l'apparition de ces bactéries au P3 et P4.

**Mots clé :** puit, analyse physico-chimiques et bactériologique, daya, Ghardaïa.

## Summary

Our work focuses on the study of groundwater quality used in irrigation in the commune of Daya Bendahoua wilaya in Ghardaïa during the winter 2022 period. Our methodological approach is to study the physico-chemical and bacteriological quality of these waters in order to compare these results with the REUE, FAO and Algerian standards and to determine the classification of these waters.

This is a well water sampling from different locations in this region, Boubrik well, Sidi abd elkader well, Shaba elhamra well and Oued Laadira mouth well.

The analyses were carried out on these samples in the laboratory of the ADE of Ghardaïa by measuring the physicochemical and bacteriological parameters. Afterwards compared with REUE standards, FAO and Algerian irrigation standards

The main physico-chemical results of our study show that most of the well waters studied are of poor quality and not compatible with the irrigation standards of Algeria and REUE and FAO. The study waters are exceeded the standards of certain parameters such as conductivity, magnesium, chloride and sulphate. Regarding the results of microbiological analyses of total and faecal coliforms, fecal streptococcus the results showed an appearance of these bacteria at P3 and P4.

**Keywords:** Well, Physico-chemical and bacteriological analysis, Daya, Ghardaia.

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.</b> Inventaire des puits par commune	page 13
<b>Tableau II.</b> Inventaire des forages albiennes	page 14
<b>Tableau III.</b> Résultats d'analyses microbiologique	page 40

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Situation géographique de la région de Daya	page 04
<b>Figure 2.</b> Variation des précipitations moyennes mensuelles	page 06
<b>Figure 3.</b> Variation de la température moyenne mensuelle	page 06
<b>Figure 4.</b> Variation des l'humidité moyennes mensuelles	page 07
<b>Figure 5.</b> Variation de la vitesse moyennes mensuelles du vent	page 08
<b>Figure 6.</b> Variation d'évaporation moyennes mensuelles	page 08
<b>Figure 7.</b> Diagramme Pluviothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	page 09
<b>Figure 8.</b> Etage bioclimatique de la région Ghardaïa	page 10
<b>Figure 9.</b> Carte des ressources en eau souterraines	page 14
<b>Figure 10.</b> Esquisse de méthode d'étude	page 16
<b>Figure 11.</b> Carte de localisation des puits	page 17
<b>Figure 12.</b> Carte de la variation spatiale de la Température	page 24
<b>Figure 13.</b> Carte de la variation spatiale du CE	page 25
<b>Figure 14.</b> Carte de la variation spatiale du pH	page 26
<b>Figure 15.</b> Carte de la variation spatiale du turbidité	page 27
<b>Figure 16.</b> Carte de la variation spatiale du TH	page 28
<b>Figure 17.</b> Carte de la variation spatiale du Ca <sup>++</sup>	page 29
<b>Figure 18.</b> Carte de la variation spatiale du Mg <sup>++</sup>	page 30
<b>Figure 19.</b> Carte de la variation spatiale du Na <sup>+</sup>	page 31
<b>Figure 20.</b> Carte de la variation spatiale du K <sup>+</sup>	page 32
<b>Figure 21.</b> Carte de la variation spatiale du Cl	page 33
<b>Figure 22.</b> Carte de la variation spatiale du HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	page 34
<b>Figure 23.</b> Carte de la variation spatiale du SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	page 35
<b>Figure 24.</b> Carte de la variation spatiale du NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	page 36
<b>Figure 25.</b> Carte de la variation spatiale du Fe <sup>++</sup>	page 38
<b>Figure 26.</b> Carte de la variation spatiale du PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	page 39
<b>Figure 27.</b> Représentation des analyses d'eau selon PIPER	page 41
<b>Figure 28.</b> Carte de la variation spatiale du SAR	page 44
<b>Figure 29.</b> Qualité des eaux des puits d'irrigation selon RIVERSIDE	page 45

## Liste des annexes

**Annexe I.** Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

**Annexe II.** Classification des eaux basées sur la CE

**Annexe III.** Directive pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (F.A.O, 1985 in F.A.O, 2003).

**Annexe IV.** Prélèvements d'eaux.

**Annexe V.** Analyses physico-chimique et bactériologique.

## Liste des abréviations

A.D.E Algérienne Des Eaux.

ANRH : Agence nationale des Ressources hydriques.

E. Coli : Escherichia Coli

°C : Température en degré Celsius.

CE : Conductivité électrique.

CF : Coliformes Fécaux.

CI : Continental Intercalaire.

CT : Coliformes Totaux.

DPAT : Direction planification et l'aménagement de territoire.

EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique.

Hr : Humidité relative de l'air

ISO : Organisation internationale de Santé Publique

mm : Millimètre

mg/l : Milligramme par Litre.

ONM : Office National Météorologique.

P : Puits.

pH : Potentiel hydrogène.

T : Température.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

TH : Titre hydrométrique.

UNT : unité néphélométrie.

UV : Ultra-Violet.

V : Vent.

µS/cm : Micro-Siémens par Centimètre.

## Sommaire

**Remerciement**

**Dédicace**

**Résumé**

**Liste des Tableaux**

**Liste des Figures**

**Liste des Annexes**

**Liste des Abréviations**

**Introduction**

### **Chapitre I. Matériels d'étude**

1. Choix de la zone d'étude.....	3
2. présentation de la zone d'étude.....	3
2.1. Localisation géographique.....	3
2.2. Démographie.....	4
2.3. Agriculture.....	4
3. Etude climatique.....	5
3.1. Précipitation.....	5
3.2. Température.....	6
3.3. Humidité relative de l'air.....	7
3.4. Vent.....	7
3.5. Evaporation.....	8
3.6. Diagramme Ombrothermique.....	8
3.7. Climagramme d'EMBERGER.....	9
4. Contexte géologique.....	11
4.1. Géologie régionale.....	11
4.2. Géologie locale.....	11
5. Hydrologie.....	12
6. Identification hydrogéologique.....	12
6.1. Nappes phréatiques.....	12
6.2. Nappe du Continental Intercalaire.....	12

### **Chapitre II. Méthodes d'étude**

1. Approche méthodologique.....	16
1.1. Etude des eaux.....	17
1.1.1. Analyses physicochimiques.....	17
1.1.2. Analyses bactériologiques.....	18
2. Méthodes d'analyse.....	18
2.1. Paramètres physicochimique.....	18
2.1.1. Température.....	18
2.1.2. Conductivité électrique.....	18
2.1.3. Potentiel d'hydrogène.....	18
2.1.4. Turbidité.....	19
2.2. Eléments majeur.....	19
2.2.1. Dureté.....	19
2.2.2. Calcium.....	19
2.2.3. Magnésium.....	19
2.2.4. Chlorure.....	19
2.2.5. Sodium et potassium.....	19
2.2.6. Bicarbonates.....	19
2.2.7. Sulfate.....	20

2.3. Paramètres de pollution.....	20
2.3.1. Fer .....	20
2.3.2. Ammonium.....	20
2.3.3. Orthophosphates.....	20
2.4. Analyses bactériologiques.....	20

## **Chapitre III. Résultats et discussions**

1. Paramètres physico-chimiques.....	23
1.1. Température.....	23
1.2. Conductivité électrique.....	24
1.3. Potentiel d'hydrogène.....	25
1.4. Turbidité.....	26
1.2. Minéralisation globale.....	27
1.2.1. Dureté .....	27
1.2.2. Calcium.....	28
1.2.3. Magnésium .....	29
1.2.4. Sodium.....	30
1.2.5. Potassium.....	31
1.2.6. Chlorure.....	32
1.2.7. Bicarbonates.....	33
1.2.8. Sulfate.....	34
1.3. Paramètres de la pollution des eaux.....	35
1.3.1. Ammonium.....	35
1.3.2. Fer.....	36
1.3.3. OrthoPhosphates.....	38
2. Résultats des analyses microbiologiques.....	39
2.1. Coliformes totaux et fécaux.....	39
2.2. Streptocoques fécaux.....	40
3. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation.....	40
3.1. Classification des eaux d'irrigation selon PIPER.....	41
3.2. Risque de salinisation.....	42
3.3. Risque d'alcalinisation.....	43
3.4. Détermination de la classe d'irrigation.....	44
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>48</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>51</b>
<b>Annexes</b>	

# **Introduction générale**

L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. L'eau peut être rare à certains endroits, et de mauvaise qualité à d'autres. La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des intrants chimiques dans l'agriculture et de la mobilisation désordonnée des ressources en eau qui produisent une modification chimique de l'eau et la rendant impropre aux usages souhaités (BENZAYET, 2010).

La quantité d'eau présente sur la planète est évaluée à 1400millions de Km<sup>2</sup>, dont 97% est salée (les océans et les mers). Sur les 3% qui restent qui constituent l'eau douce, les trois quart sont bloqués dans les glaciers et les nappes très profondes et le quart restant donc utilisable ce qui représente uniquement 0.4% des disponibilités totales en eau sur terre (BOUZIANI, 2000).

Les eaux souterraines constituent 20 % des réserves d'eaux soit environ 1000 millions de m<sup>3</sup>, leur origine est due l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles sont généralement d'excellente qualité physicochimique et bactériologique, elles se réunissent en nappes (RODIER, 1996).

Cependant elles peuvent, d'une part être contaminées par la technique de puisage, la proximité des latrines ou d'autres sources de pollution, le manque de protection, d'autre part, elles peuvent être chargées par les éléments ; eaux saumâtres, (NaCl) eau dure (Ca<sup>++</sup>) ; eau ferrugineuse (Fe<sup>++</sup>) (HADJ, 2020).

Les eaux souterraines offrent des ressources avantageuses pour de nombreux utilisateurs prédominante dans certains pays mais de nature variée incorporées au ressource en eaux de surface. Elles sont largement utilisées dans un grand nombre de pays forment souvent la principale source d'approvisionnements en eaux potable contribuent dans une proportion appréciable aux approvisionnements en eau industrielle dans les pays développée et constituent la ressource locale quasi exclusive pour l'irrigation et l'élevage en zone arides (MARGAT, 1990).

Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline (REMINI, 2010).

Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux souterraines proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment d'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture (Aka et *al.*, 2013 ; Ahoussi et *al.*, 2013 ; Lagnika et *al.*, 2014 ; Amadou et *al.*, 2014 ; Nouayti et *al.*, 2015).

En Algérie, les eaux de surface sont les principales sources pour notre approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus l'individu et la municipalité se tournent vers les nappes phréatiques qui renferment un volume énorme d'eau exploitable (Chekroud, 2007).

Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Certaines régions algériennes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène et ainsi l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité (Remini, 2010).

Les ressources en eaux souterraines représentent une ressource majeure pour les populations rurales au Sud du Sahara étant donné que les eaux de surface ne sont pas pérennes à cause de la valeur élevée de l'évapotranspiration ou de leur qualité médiocre.

Seule source d'eau potable de qualité, ces eaux souterraines conditionnent la sécurité alimentaire de ces populations. Près de la moitié de la population africaine compte sur l'eau souterraine (CARTER et PARQER, 2009).

Aussi, cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un potentiel économique important particulièrement pour générer et entretenir la prospérité à travers certaines activités telles que l'agriculture (L'irrigation), la production d'énergie, l'industrie, le transport et le tourisme (PATURELJE et al., 2010).

La qualité de l'eau correspond à un ensemble de critères physico chimiques qui détermine son degré de pureté et par conséquent sa vocation aux divers usages (RAMAD, 1998).

Cette étude s'intéresse à identifier les caractéristiques physicochimique et bactériologique d'eaux utilisé dans d'irrigation à la région de vallée de Mzab de la commune de daya bendahoua willaya de Ghardaïa au cours d'hiver 2022.

Afin d'atteindre notre objectif, cette recherche s'articule autour de trois chapitres, dont:

**Le premier chapitre :** ce chapitre est le matériel d'étude représente la région d'étude et ces caractéristiques.

**Le deuxième chapitre :** méthodes d'études, représente la méthode d'échantillonnage et l'approche suivi dans les analyses physicochimiques et bactériologiques au niveau de laboratoire l'ADE unité Ghardaïa.

**Le troisième chapitre :** dans ce chapitre, on a discuté et interprété les résultats obtenus.

Finalement, on a tiré une conclusion correspond à ce travail.

# **Chapitre I. Matériels d'étude**

## 1. Choix de la zone d'étude

L'Algérie est considérée comme l'un des pays les plus riches en eau de puits en raison des nombreuses sources qui s'y trouvent.

Pour étudier la nature de ces eaux (étude hydrogéologique), la connaissance des caractéristiques hydro-climatiques des terres est nécessaire.

Notre travail portera sur l'étude et l'évaluation des eaux souterraines. Pour ce faire, notre analyse a été menée dans la commune de Daya Bendahoua. Elle a pour but d'estimer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de cette zone et de faire une classification par rapport les normes.

Cette section présente la localisation géographique de la zone d'étude, la démographie et l'agriculture, l'étude climatique, Contexte géologique, l'hydrologie et l'hydrogéologie.

## 2. Présentation de la zone d'étude

### 2.1. Localisation géographique

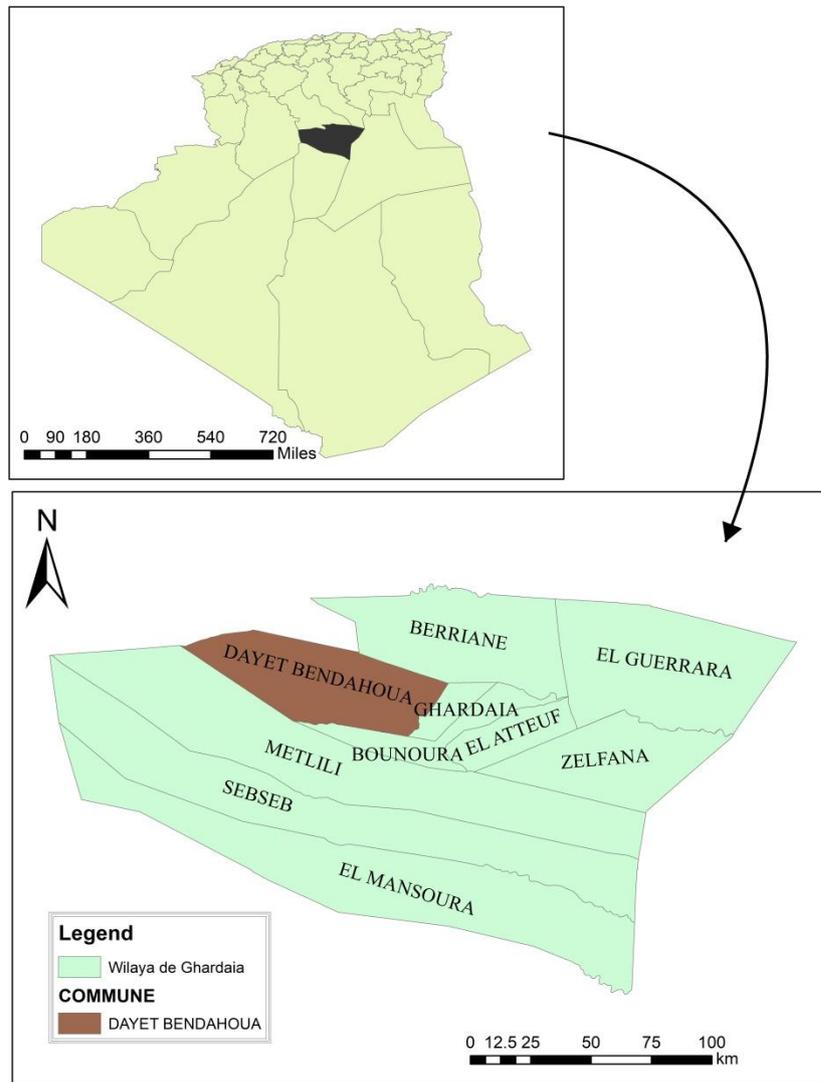
La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre du Sahara septentrional aux portes du désert (le Sahara Nord-central algérien), à une distance de 600 km d'Alger. Elle s'étend sur une superficie de 31 060 km<sup>2</sup>.

Selon la loi n°19-12 du 11 décembre 2019, le nouveau découpage administratif permet à soustraire trois communes (Hassi lefhal, Hassi el-gara, El-Menia) de la wilaya de Ghardaïa, donc elles sont fait partie de la wilaya de Maniaa, donc la wilaya de Ghardaïa, elle est limité par (KESBI et KOUZRIT, 2021) :

- La wilaya de Laghouat, Au Nord (200km) ;
- La wilaya de Djelfa, Au Nord Est (300km) ;
- La wilaya d'Ouargla, A l'Est (200km) ;
- La wilaya d'El-Menia, Au Sud (280 km) ;
- La wilaya d'El-Bayad, A l'Ouest (350km).

Donc la wilaya de Ghardaïa compte 08 daïras et 10 commune sont : Ghardaïa, Berriane, Bounoura, Metlili, Daya Ben Dahoua, Guerrara, Zelfana, Sebseb, El-Atteuf, El-Mansoura (KESBI et KOUZRIT, 2021).

La commune de Daya Bendahoua qui est située à 10 km au nord-ouest de Ghardaïa. Elle s'étend sur une superficie de 2234,94 km<sup>2</sup>, entre une longitude de 32°, 32° et 13° Nord Est et une latitude de 3°, 36°, et 20° Est.



**Figure 1.** Situation géographique de la région de Daya Bendahoua

## 2.2. Démographie

La commune de Daya Bendahoua compte une population de 19 389 habitants. Cette commune a connu une croissance démographique de 15,069 habitants en 2018, à 19192 en 2020. La densité de peuplement est de 9 habitants/Km<sup>2</sup> (DPRT, 2022).

## 2.3. Agriculture

Dans la Wilaya de Ghardaïa, le secteur agricole est limité ; il est à vocation phoénicicole. Sur les 8 466 012 hectares couverts par la superficie de la Wilaya, 1 370 911 hectares sont affectés à l'agriculture et la superficie agricole utile (SAU) est évaluée à 32 745 hectares. À cause des faibles précipitations, la SAU exploitée se limite aux superficies qui bénéficient d'une ressource hydrique (forages, puits), le reste est constitué de pacages et parcours de 1337 994 hectares et de terres improductives des exploitations agricoles s'étendant sur 172 hectares.

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par 2 systèmes d'exploitation : Oasien de l'ancienne palmeraie et la mise en valeur. Le patrimoine phoénicien de la Wilaya compte 1 224 810 palmiers dont 1 014 295 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 50 000 tonnes dont 21 000 tonnes de type Deglet Nour. Avec l'extension des surfaces, le secteur de l'agriculture offre de grandes perspectives de développement (DSA, 2012).

La commune de Daya bendahoua abrite la seule palmeraie qui subsiste en amont de la vallée du M'Zab avec celle d'El Atteuf, située en aval. Elle s'allonge sur 7 km et comporte 200 000 palmiers (HADJ, 2020).

### **3. Etude climatique**

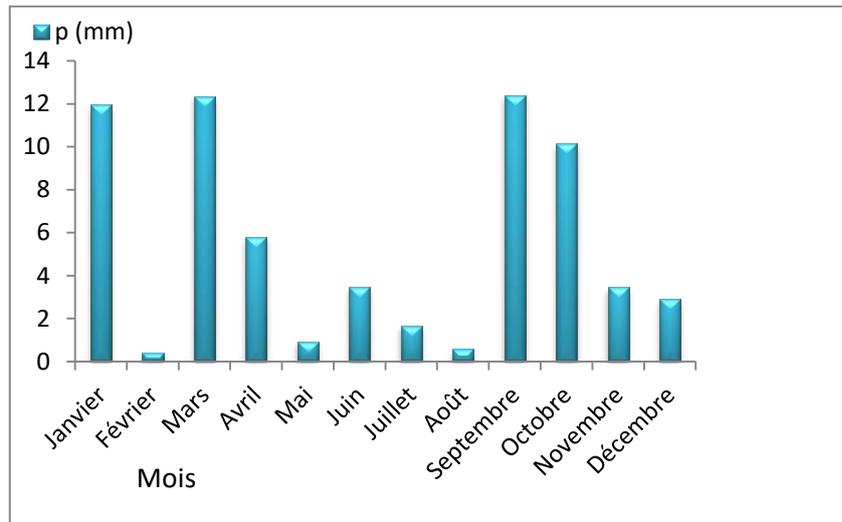
Elle a pour objectif de déterminer les différents paramètres climatiques qui conditionnent l'écoulement superficiel et souterrain. Les paramètres étudiés sont: Les précipitations, la température, le vent, l'humidité et l'évaporation.

La région de Ghardaïa se situe dans le Sahara septentrional; son climat désertique est caractérisé par deux saisons: une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars). De ce fait, on y remarque une grande différence de températures entre l'été et l'hiver (ANRH, 2011).

Les données climatologiques vacantes au niveau de la station météorologique de Ghardaïa permettent de donner un aperçu général des conditions climatiques de la région étudiée. La seule station disponible à l'intérieur de notre bassin versant est celle de l'office nationale métrologique (ONM) située près de l'aéroport de Ghardaïa.

#### **3.1. Précipitation**

Les données climatiques de la région de Ghardaïa au cours de la période (2009/2019) indiquent que le volume des précipitations moyennes mensuelles est rare et irrégulier. Le niveau d'eau annuelle précipitée est de l'ordre 66,184 mm. Le maximum est enregistré au mois de septembre avec 12,40 mm et un minimum de 0,425 mm est enregistré aux mois de Janvier (Fig. 2).



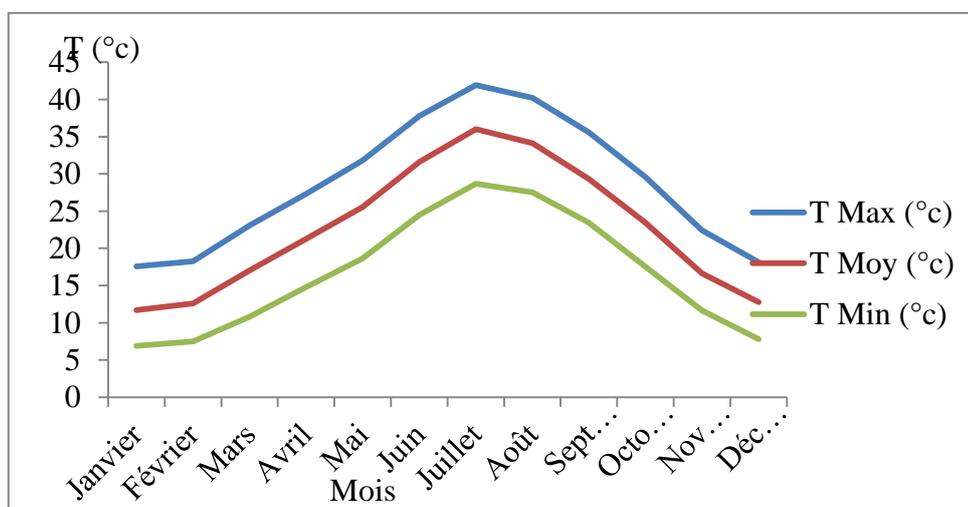
**Figure 2.** Variation des précipitations moyennes mensuelles de station de Ghardaïa (2009-2011) (ONM, 2019)

### 3.2. Température

La température est un facteur écologique capital (DREUX, 1980) ; elle est considérée comme un facteur limitant de toute première importance, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne ainsi la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivant dans la biosphère (RAMADE, 1984).

La période de haute température dure de mai à octobre, période durant laquelle la température mensuelle est supérieure à la température moyenne annuelle.

La période froide commence en novembre et prend fin au mois d'avril. La température moyenne annuelle enregistrée au cours de la période Considérez et 22,67°C (Fig. 3). Le mois le plus chaud est celui de juillet avec une température de 41,29 °C, janvier étant le mois le plus froid avec une température avoisinant les 6,90°C (ONM, 2019).



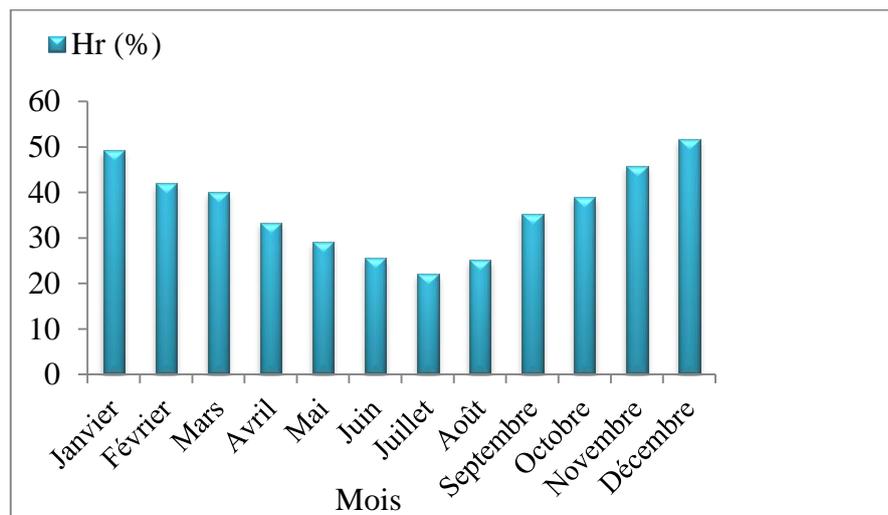
**Figure 3.** Variation de la température moyenne mensuelle de station de Ghardaïa (2009-2011) (ONM, 2019)

### 3.4. Humidité relative de l'air

L'humidité relative : elle représente le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la même température.

Les données recueillies de la station de Ghardaïa donnent une moyenne annuelle de l'ordre de 36,54%. Les moyennes mensuelles varient de 41,96% à 51,7% en hiver et de 25,66% à 22,16% en été (Fig. 4).

L'humidité maximale est enregistrée durant le mois de janvier avec un taux de 49,31 % alors que l'humidité minimale est enregistrée au mois de juillet avec un taux de 22,16 %.



**Figure 4.** Variation de l'humidité moyenne mensuelle de station de Ghardaïa (2009-2011)  
(ONM, 2019)

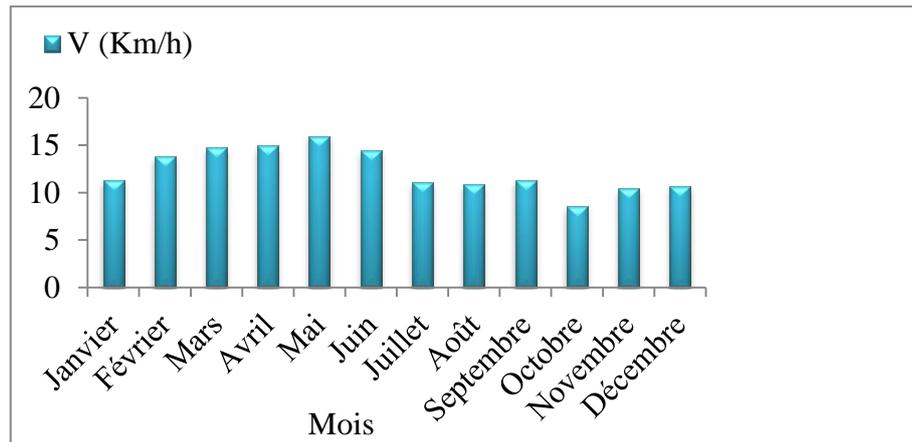
### 3.5. Vent

Il n'y a pas de désert sans vents. Il est le facteur principal de la topographie désertique. Le vent est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région. Sa vitesse régit l'évaporation à la surface du sol et de la végétation (DPRT, 2018).

Dans les régions arides, les vents jouent un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols ainsi que dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols par leurs vitesses et leurs fréquences, ils sont très variables au cours de l'année (ROUVILLOIS, 1975).

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides (ONM, 2019)

L'examen de l'histogramme (Fig. 5) montre que la vitesse maximale est enregistrée durant le mois de Mai avec une vitesse de 15,98 km/h alors que la vitesse la plus faible est enregistré durant le mois de octobre avec : 8,54 km/h. La vitesse moyenne est de l'ordre de 12,364 km/h.



**Figure 5.** Variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent

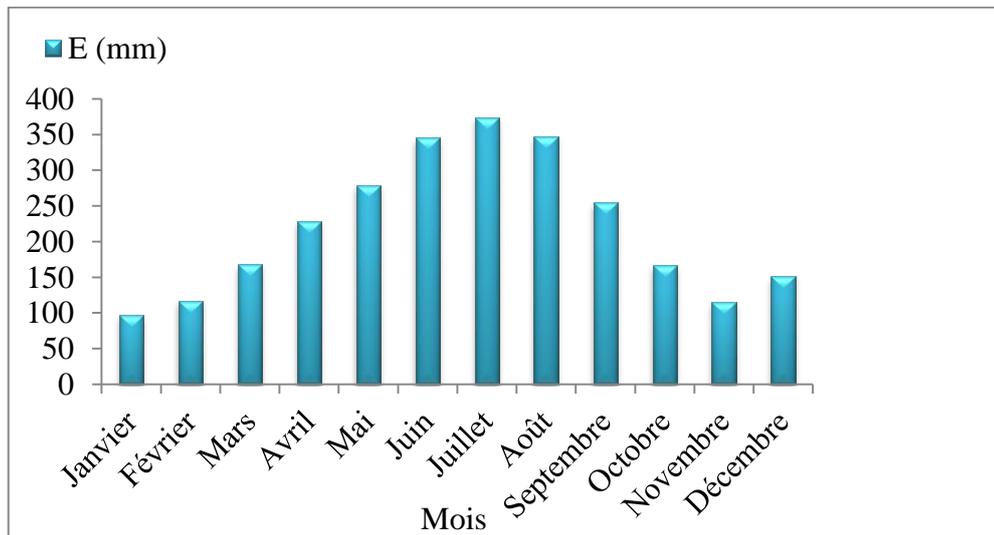
### 3.6. Evaporation

C'est le processus physique de la transformation de l'eau en vapeur d'eau. Elle est un paramètre essentiel, car elle représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrologique d'une région donnée.

Cependant, ce paramètre est difficile à mesurer car il dépend de plusieurs facteurs qui sont variables dans l'espace et dans le temps, tels que la température, les précipitations, la vitesse des vents, l'humidité de l'air, l'état du sol et la végétation (SAOUD, 2014).

Le mois de juillet est caractérisé par une forte évaporation avec 374 mm alors que l'évaporation la plus faible est enregistrée au mois de novembre avec 115 mm.

La valeur moyenne de l'évaporation annuelle est de 2617,5 mm (Fig. 6).



**Figure 6.** Variation de l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa l'année 2009 à 2019 (ONM, 2019)

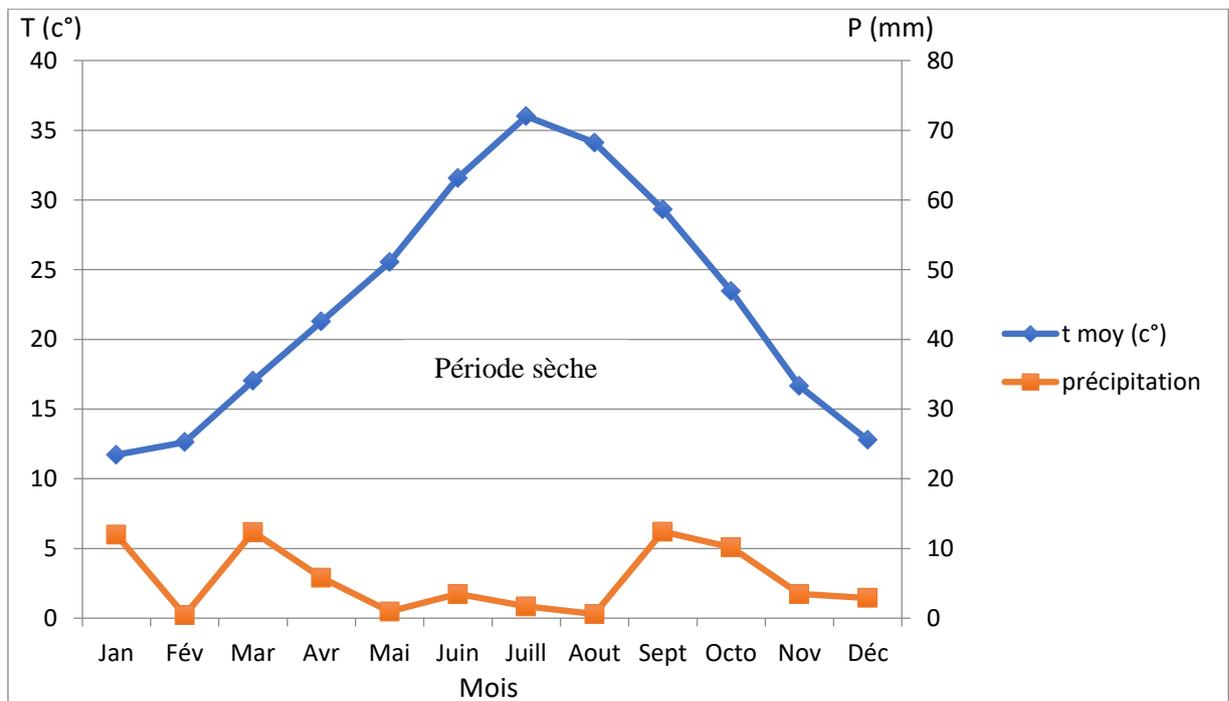
### 3.7. Diagramme Ombrothermique

Pour caractériser le climat de Ghardaïa, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et le climagramme d'EMBERGER.

A l'aide des résultats des données de précipitation et de températures mensuelles sur une période de 10 ans, nous pouvons établir la courbe pluviométrique avec pour objectif de déterminer la période sèche.

Le diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique, il est représenté .En abscisse par les mois de l'année.

- ❖ En abscisse, par les mois de l'année.
- ❖ En ordonnée, par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C avec une échelle de  $P=2T$ .
- ❖ L'aire comprise entre les deux courbes représente le période sèche. Ainsi, nous remarquons que dans la région de Ghardaïa, cette période s'étale sur toute l'année (Fig. 7)



**Figure 7.** Diagramme Pluviothermique de BAGNOULS et GAUSSEN caractéristique de la région du Ghardaïa (2009-2019)

### 3.8. Climogramme d'EMBERGER

Le diagramme ombrothermique (Ombro = pluie, thermo = température) est construit en portant en abscisse les mois et en ordonnée les précipitations (P) en mm sur un axe et les températures (T) °C sur le second, en prenant soin de doubler l'échelle par rapport à celle des précipitations ( $P = 2T$ ), pour obtenir un diagramme superposé (Fig. 08) (FAURIE *et al.*, 1980).

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen, dont la formule est (CLAUDIN *et al.*, 1979 in SLIMANI, 2006) :

$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2.$$

De fait, que M et m, les températures maximal et minimal exprimées en Kalven (K°), STEWART (1969 in SLIMANI, 2006) ont montré que pour l'Algérie et le Maroc la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire :

$$Q3 = 3,43 \times P / M - m.$$

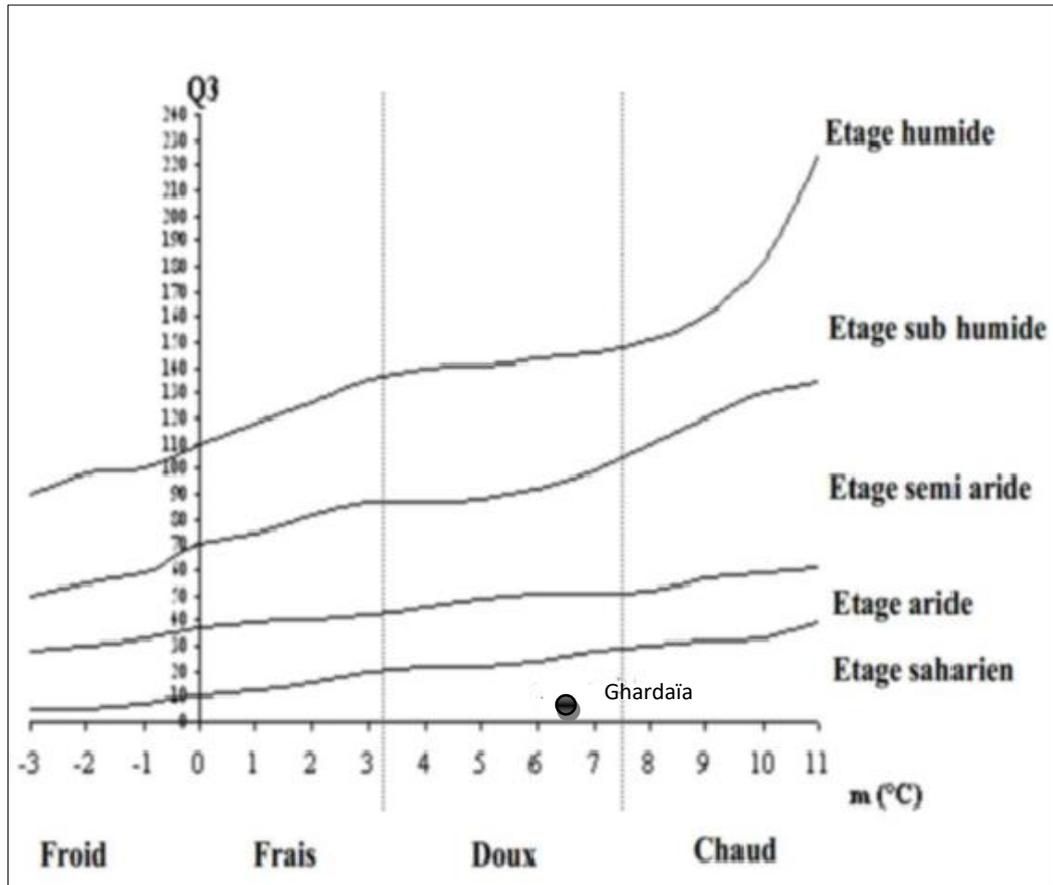
P : Pluviosité moyenne annuelle en mm ; (66,184 mm).

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chauds exprimés en degré Celsius °C, (41,92 °c).

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid exprimée en degré Celsius °C, (6,9 °c).

En fonction de la valeur de ce coefficient on distingue les zones suivantes : humide avec  $Q > 100$  ; tempérée avec  $100 > Q > 50$  ; semi-aride avec  $50 > Q > 25$  ; aride avec  $25 > Q > 10$  et désertique avec  $Q < 10$  (Fig. 12) (FAURIE *et al.*, 2006).

D'après la (Fig. 8), Ghardaïa est caractérisée par un climat saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q3) est de **6,48**.



**Figure 8.** Etage bioclimatique de la région Ghardaïa selon le Climagramme d'EMBERGER

## 4. Contexte géologique

### 4.1. Géologie régionale

La wilaya de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara. Les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur ; ils sont principalement composés par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab" (HANICHI et HAMEL, 2020).

Du point de vue lithologique, les affleurements sont de type :

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-ouest attribués au Cénomaniens.
- En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental.
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien.
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien.
- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-est attribués au Mio-pliocène.
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds (ACHOUR ,2010).

### 4.2. Géologie locale

La région du Bas-Sahara se présente comme une vaste cuvette limitée à l'ouest par la dorsale du Mzab, au sud par les hamadas du Tademaït et de Tinhert et à l'Est par les plateaux du Dahar tunisien.

Ses bordures, de hauteur modeste, s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée matérialisée par l'axe SSO-NNE des oueds M'ya et Righ. Vers le Nord au-dessus d'une dépression longitudinale occupée par des chotts et dont le fond est inférieur au niveau de la mer (ACHOUR ,2014).

## 5. Hydrologie

Les eaux de surface sont rares, comme dans toutes les régions sahariennes. L'écoulement de l'oued M'Zab est intermittent ; il se manifeste à la suite d'averses orageuses. Les crues de l'oued M'Zab dont les débits décennales et centennales sont estimées à 205 et 722 m<sup>3</sup>/s ont des conséquences parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables.

Pour les crues de faible ampleur, un système hydraulique formé d'une série de petits barrages et de galeries souterraines a été installé (BENSAHA et *al.*, 2011).

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab. Ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est (ANRH, 2010 ; ANRH, 2011).

## 6. Identification hydrogéologique

### 6.1. Nappes phréatiques

Elles sont abritées dans les alluvions des vallées des oueds de la région. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 30 m. Ces nappes sont captées par des centaines de puits traditionnels, et destinées essentiellement, pour irriguer les palmeraies des vallées (BEESSEDDIK, 2019).

Il s'agit d'une nappe superficielle type d'Inféro-flux, largement exploitée par des puits. Elle est située dans l'aquifère alluvionnaire et du Turonien (MELLAK, 2009 ; ACHOUR, 2014).

A la wilaya de Ghardaia on trouve 917 puits, alors qu'en trouve 662 de ces puits a la commune de Daya Bendahoua comme il est indiqué dans le tableau I (Tabl. I).

**Tableau I.** Inventaire des puits par commune (DSA, 2019)

Communes	Nombre de puits	Débit l/s
Ghardaïa	917	917
El Ménéa	200	400
Daya Bendahoua	662	662
Berriane	700	700
Metlili	1410	1421
Guerrara	590	1770
El Atteuf	385	770
Zelfana	03	9
Sebseb	692	2076
Bounoura	393	786
HssiLefhel	18	54
Hassi L'Gara	-	-
Mansourah	300	900
<b>Total</b>	<b>6270</b>	<b>10465</b>

### 6.2. Nappe du Continental Intercalaire

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye.

La partie Algérienne du Continental Intercalaire (CI) couvre 600 000 Km<sup>2</sup>. Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m<sup>3</sup> environ (Fig. 9) (HELAL et OURIHANE, 2003).

Le CI représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grés et d'argiles sableuses d'âge Albien. Selon la région, elle est captée à une profondeur allant de 80 à 1000 m. Suivant l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au continentale intercalaire (CI), elle est Jaillissante et admet des

pressions en tête d'ouvrage de captage dans les zones de Zelfana, Guerrara, HassiFhel et Hassi Gara, exploitée par pompage à des profondeurs variant de 0,5 m à 140 m dans les zones de Ghardaïa, Metlili, Berriane, Sebseb, Mansourah et certaines régions d'El Menia.

Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique (MESSID, 2009).

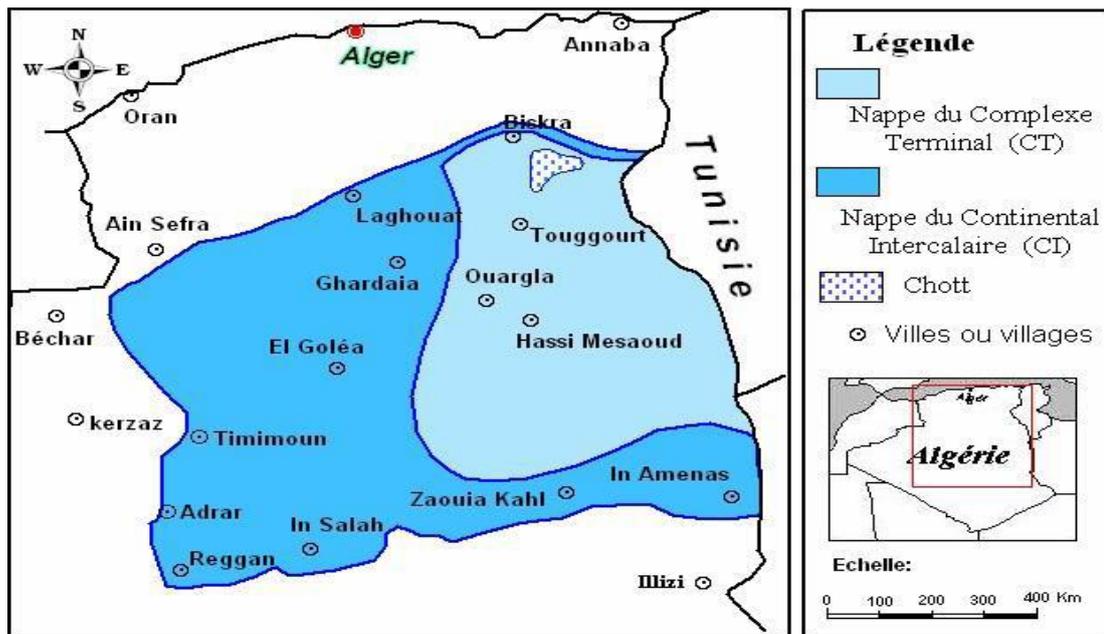
La CI est la plus grande réservoir dans tous le Sahara, d'âge crétacé inférieur (Barrémien et Albien), le réservoir s'étend sur une superficie environ 600000Km<sup>2</sup>, il s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, de la vallée d'oued Saoura à l'Ouest, en territoire Tunisien et Libyen à l'Est. Au Nord-Est de la dorsal du M'Zab, le toit de l'aquifère est constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomaniens, à une continuité sur tout le bassin d'Ouargla et d'une épaisseur environ de 600m, d'une profondeur allons de 1200 à 1500m.

La wilaya de Ghardaïa comprendre 386 forages, 230 de c'est forages sont utiliser pour l'irrigation comme il est indiqué dans le tableau II (Tabl .II).

Généralement, les eaux de l'Albien sont beaucoup plus chaudes à forte pression et la température est d'environ 55C°, ce qui pose de nombreux problèmes. Cette nappe est caractérisée par une faible teneur en sel (1.7 à 2 g/l au maximum), la profondeur augmente du Sud au Nord, de 1000m au bas Sahara à 2000m sous les chotts (CHERA, 2018).

**Tableau II.** Inventaire des forages albiennes selon l'usage (ANRH, 2021)

Usage	Nombre des forages	
	Ghardaïa	El-Menia
Alimentation en eaux potable	124	42
Irrigation	230	771
Industrie	14	8
<b>Totaux</b>	<b>368</b>	<b>821</b>
	<b>1189</b>	

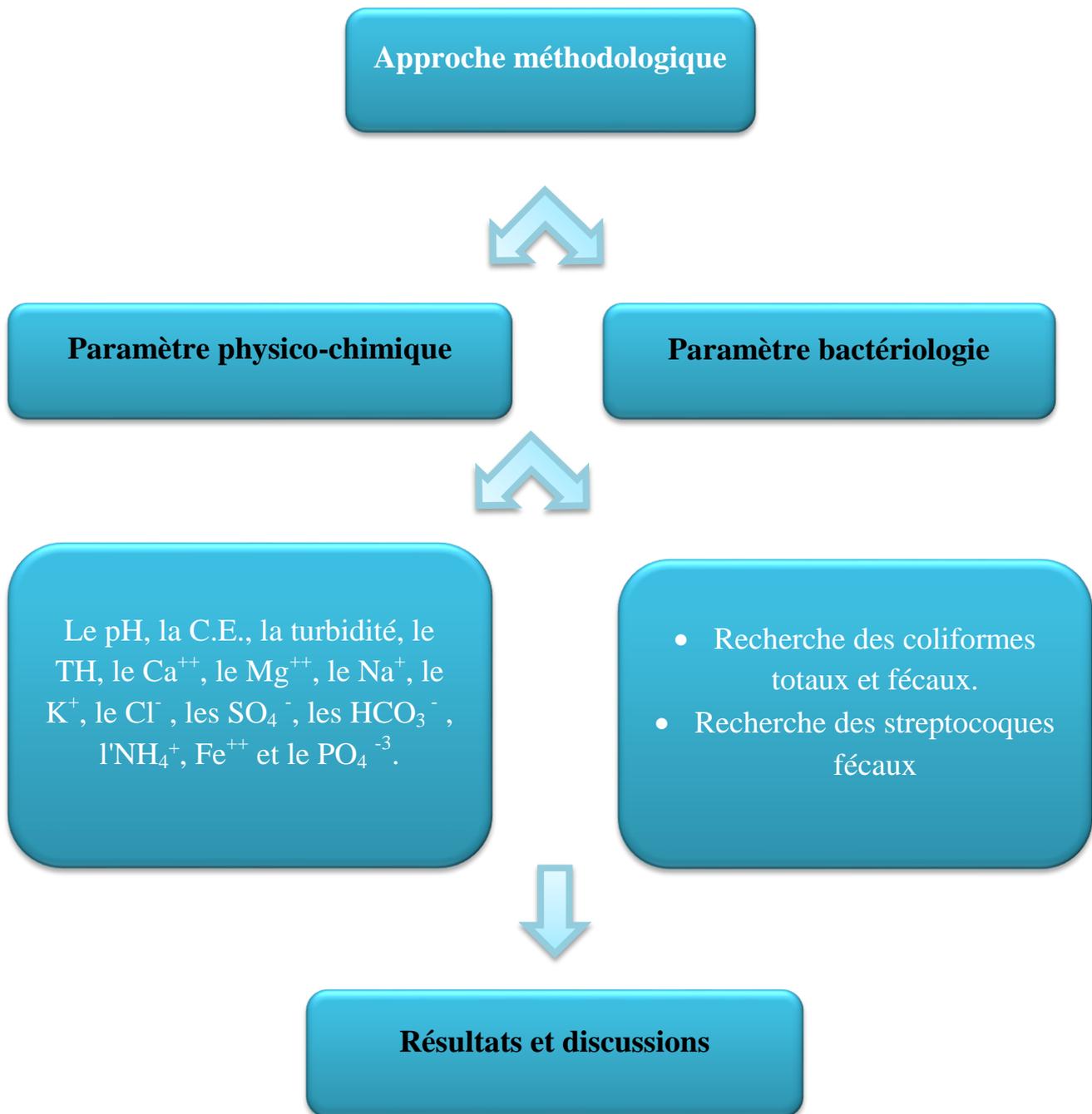


**Figure 9.** Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal) (HELAL & OURIHANE, 2003)

## **Chapitre II. Méthodes d'étude**

## 1. Approche méthodologique

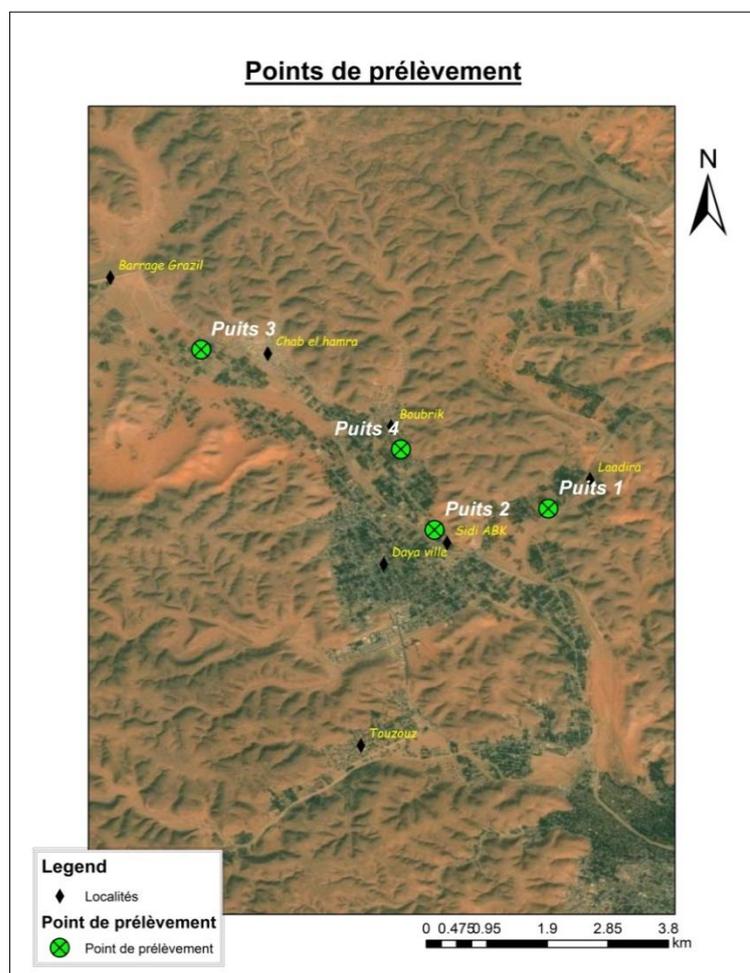
Notre approche méthodologique consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologie des eaux souterraines de la commune du Daya Bendahoua, par des mesures physico-chimiques et bactériologiques des eaux, ainsi que la classification de la qualité des eaux par rapport les normes, afin de déterminer leurs aptitudes qualité (Fig. 10).



**Figure 10.** Esquisse de méthodes d'étude.

## 1.1. Etude des eaux

L'étude des eaux souterraines dans la commune de Daya Bendahoua a consisté à effectuer pour 4 puits traditionnels (Fig. 10) des mesures hydro-chimiques et des mesures bactériologiques.



**Figure 11.** Carte de localisation des puits étudiés dans la commune de Daya Bendahoua.

### 1.1.1. Analyses physicochimiques

L'analyse physico-chimique des eaux souterraines comprend la détermination des paramètres physico-chimiques ordinaire des eaux souterraines (Annexe. V).

L'étude de qualité de l'eau comporte trois étapes :

- Prélèvement (Annexe. IV) ;
- Analyse ;
- Interprétation.

L'eau a été prélevé le 6 février 2022 à 8 : 00 heure. Les échantillons des eaux sont mis dans des bouteilles d'eaux et étiquetés et transportés au laboratoire dans un délai court, ne dépassant pas 24 heures au maximum, selon les indications de RODIER (2009).

Ouvrir le robinet et rincer le flacon trois fois avec l'eau de robinet et placer le flacon sous le jet d'eau pour le remplir.

Les paramètres étudiés sont : Les paramètres physiques : la température pH, la CE, et la turbidité. Les éléments majeurs :  $\text{TH}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^-$ . Les paramètres de pollution : fer, orthophosphates et l'ammonium.

### **1.1.2. Analyses bactériologique**

L'eau a été prélevé le 13 février 2022 à 8 :00 heure.

Dans ce cas, la manipulation s'effectue dans les meilleures conditions de stérilité. Avant de procéder au prélèvement proprement dit :

- enlever les brise-jets et tuyaux de caoutchouc adaptés au robinet choisi, débarrasser celui-ci le cas échéant des concrétions calcaires, qui ont pu s'y déposer ;
- se laver très soigneusement les mains et avant-bras, les rincer à l'alcool, laissé sécher.
- flamber le robinet pendant au moins 1 minute, en utilisant, par exemple, une lampe à souder portative au gaz butane.
- ouvrir le robinet et laisser couler 3 à 5 minutes avant de faire le prélèvement. Le prélèvement terminé, inscrire sur l'étiquette les indications nécessaires à l'identification du prélèvement. Replacer le flacon dans son enveloppe de papier, en protégeant préférentiellement le bouchon et le goulot. Sur une feuille annexe (RODIER *et al.*, 2009).

## **2. Méthodes d'analyse**

La détermination des paramètres étudiés est obtenue suivant les méthodes d'analyses suivantes :

### **2.1. Paramètres physicochimique**

#### **2.1.1. Température**

Il est important de connaître la température (T) de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH (RODIER *et al.*, 2005).

#### **2.1.2. Conductivité électrique**

Valeur de la conductivité (CE) représente la concentration en ions d'une solution mesurée, plus une solution contient de sel, d'acide ou de base, plus sa conductivité est élevée. On la mesure en utilisant la méthode électrochimique de résistance à l'aide d'un conductimètre (BAGRA et TELLI, 2018) (Annexe. V).

#### **2.1.3. Potentiel d'hydrogène**

Sa mesure est déterminée à l'aide d'un PH-mètre (Annexe. V), il aide à déterminer l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'eau.

#### 2.1.4. Turbidité

La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre (Annexe. V).. C'est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute (LANTEIGNE, 2003). La turbidité se mesure en unité néphélogéométrie (NTU) (LANTEIGNE, 2003).

### 2.2. Eléments majeurs

#### 2.2.1. Dureté

La dureté est dosé par titrimétrie à l'EDTA Titrage et une solution tampon (Annexe. V). Le mordant noir, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium est utilisé comme indicateur (ISO, 1984).

#### 2.2.2. Calcium

Le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) est déterminé par le titrage (Annexe. V). Titrimétrie à l'EDTA Titrage des ions  $\text{Ca}^{++}$  avec EDTA à un pH compris entre 12 et 13. Le HSN, qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur (ISO, 1984).

#### 2.2.3. Magnésium

Le magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ) peut être estimé par la différence entre la dureté totale (TH) et le calcium (RODIER *et al.*, 2009).

Est exprimé par cette équation:

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] \Rightarrow [\text{Mg}^{2+}] = \text{TH} - [\text{Ca}^{2+}]$$

#### 2.2.4. Chlorure

Ce paramètre est déterminé par le titrage (Annexe. V). Le chlore ( $\text{Cl}^-$ ) est précipité par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge de chromate d'argent (ISO, 1984).

#### 2.2.5. Sodium et potassium

Le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission de flamme (Annexe. V). Aspiration de l'échantillon dans une flamme de gaz, présentant une énergie thermique suffisante pour provoquer l'émission de radiations caractéristiques du sodium ( $\text{Na}^+$ ) et du potassium ( $\text{K}^+$ ) présents dans la solution (ISO, 1993).

Lorsque les atomes d'un élément sont excités par une flamme, ils émettent des radiations de longueur d'onde déterminée dont l'intensité est mesurée par spectrophotométrie (Rodier, 2009)

#### 2.2.6. Bicarbonates

Le dosage des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) est effectué par titrimétrie. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré (ISO, 1989).

### 2.2.7. Sulfate

Les mesures de sulfate sont déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre de type DR 6000 (Annexe. V). Les ions sulfates se précipitent en milieu acide et en présence du chlorure de baryum ( $\text{BaCl}_2$ ) pour former du sulfate de baryum ( $\text{BaSO}_4$ ) (Rodier, 2009).

### 2.3. Paramètres de pollution

La détermination de  $\text{Fe}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Ces paramètres sont mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre (STEP, ElAtteuf 2017).

#### 2.3.1. Fer

Le dosage de fer ( $\text{Fe}^{++}$ ) est effectué par spectrophotomètre UV 440  $\mu\text{m}$  (Annexe. V).

Addition d'une solution de phénanthroline-1.10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe-rouge-orange, à une longueur d'onde d'environ 510 nm (ISO, 1989).

#### 2.3.2. Ammonium

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium ( $\text{NH}_4$ ) traités par une solution de chlore pour les transformer en monochloramine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire (RODIER *et al*, 2009).

#### 2.3.3. Orthophosphates

Le dosage par méthode spectrométrie moléculaire : en milieu acide et en présence de mol-ybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrométrique (RODIER, 1996).

### 2.4. Analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques des eaux sont effectuées après prélèvements des eaux dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés au four Pasteur à 180 °C pendant 1 heure 30 minutes. Les échantillons sont prélevés dans la même période des analyses physico-chimiques et transportés au laboratoire de l'ADE pour analyser.

Le Schubert à été préparé et a apporté de l'université, en raison du manque de produit.

La méthode d'analyse utilisée est la filtration sur membrane 0,45  $\mu\text{m}$  (Annexe. V).

L'objectif de l'analyse bactériologique est de rechercher les espèces qui sont susceptibles d'être pathogènes (RODIER, 2005).

Les analyses bactériologiques sont effectuées à l'aide des méthodes suivantes :

- Recherche des coliformes totaux et fécaux.
- Recherche des streptocoques fécaux.

---

Après filtration sur membrane de cellulose, celle-ci est appliquée sur un support nutritif contenant des substances inhibitrices qui laissent se développer préférentiellement les colonies de streptocoques fécaux. (RODIER *et al.*, 2009).

Selon RENÉ (2010), les Coliformes fécaux capables de fermenter le lactose à 44°C thermo-tolérant du genre d'Escherichia Coli. Les Coliformes fécaux sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de la première importance.

## **Chapitre III. Résultats et discussions**

Au cours de ce chapitre nous présentons et discutons les principaux résultats obtenues.

## 1. Paramètres physicochimiques

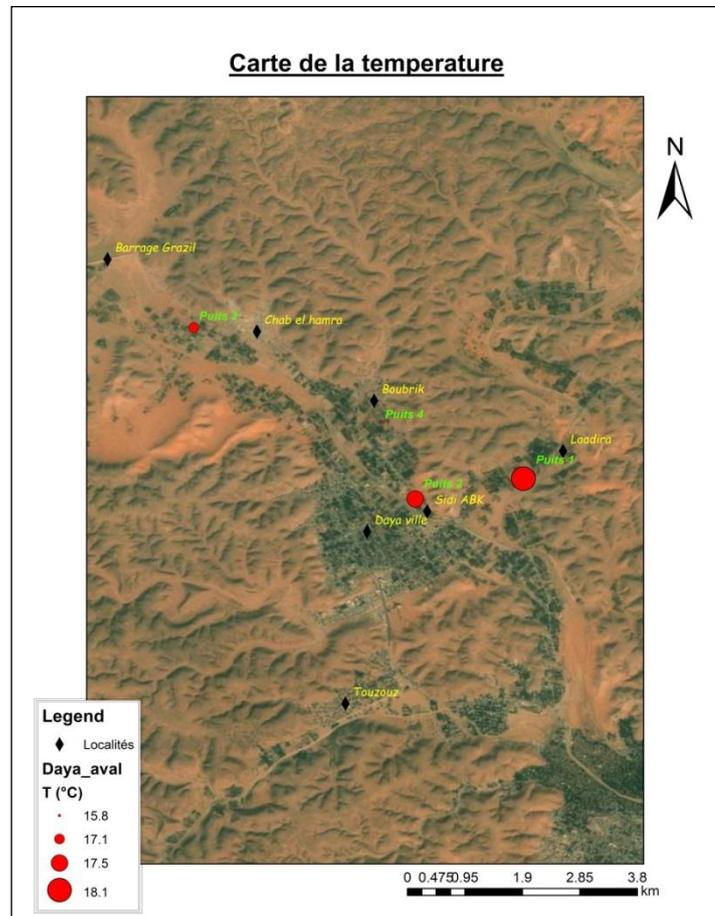
### 1.1. Température

La température (T) joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle permet de corriger les autres paramètres chimiques, comme le pH. De plus la prolifération des bactéries est favorisée par une élévation de température (BENRAIS, 1995).

La température mesurée pour l'eau du puits P1 est 18,1 °C alors que la T au P2 et P3 sont presque les mêmes (17,1 °C - 17,5 °C), la valeur faible de température se trouve au P4 de 15,8 °C, elle est faible car plus nous baissons, plus la température diminue (Fig 12).

Les variations de température s'estompent au-delà de 3 mètres de profondeur et la température des eaux souterraines est invariable au cours de l'année (PETIT et ERPICUM, 1987).

Les résultats de la température sont inférieurs à celles enregistrées par HADJ (2020) pour l'eau de puits de la commune de Daya Bendahoua qui elles ont enregistré 20,6 °C.



**Figure 12.** Carte de la variation spatiale de la T des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

## 1.2. Conductivité électrique

En analysant ces résultats (Fig. 13) on peut constater que :

La grande valeur de CE est enregistrée au point d'eau P1 (6730  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et la plus faible est mesurée au niveau de point d'eau P2 (2730  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) car elle peut être entrelacée avec autres oueds, alors que la valeur moyenne se trouve au niveau de P4 avec une valeur de 3230  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Ces valeurs dépassent les normes Algériennes ( $\leq 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), et les normes de REUE en agriculture (3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Annexe. I).

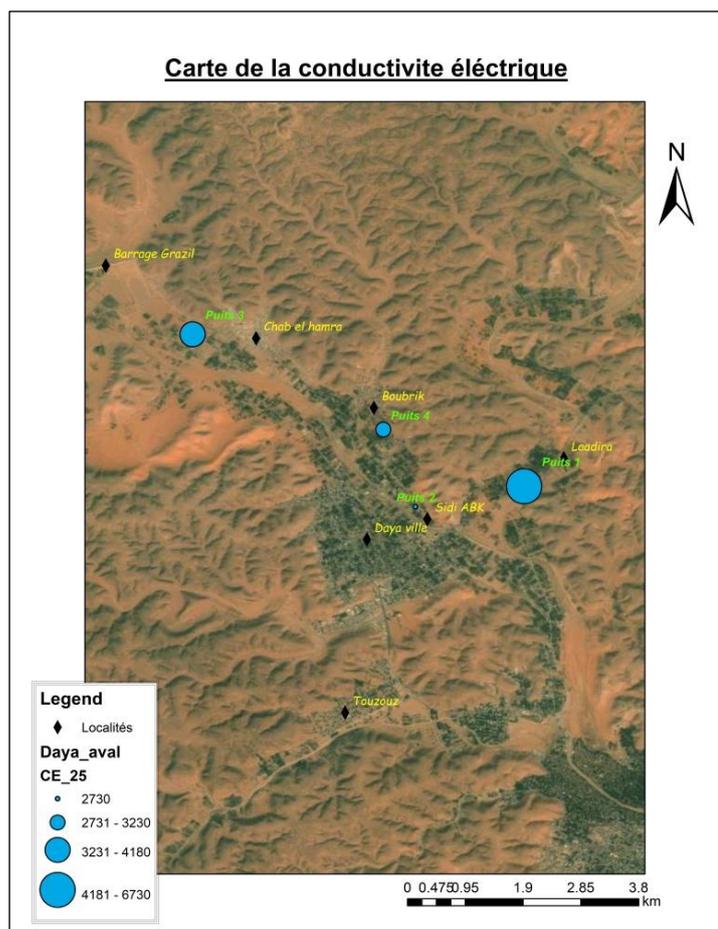
Ils aussi ne dépassent pas les normes de FAO (3).

La conductivité est élevée indiquant une forte minéralisation avec toutefois une tendance à diminuer avec la profondeur en allant de la nappe phréatique vers la nappe des calcaires (BOUCHEMAL et ACHOUR, 2015).

Généralement la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température (DIB, 2009).

D'après BENGUELIA et HADJ BRAHIM (2018) les valeurs de CE des eaux des forages sont proches à nos résultats ( $1804 \mu\text{S}/\text{cm} \leq \text{CE} \leq 2090 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), alors que les valeurs de CE des eaux des puits obtenue par HADJ (2020) sont inférieure de nos résultats (849  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Par contre les valeurs des eaux des puits obtenue par BENZAYET (2006) sont supérieur à nos résultats ( $586 \mu\text{S}/\text{cm} \leq \text{CE} \leq 9720 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).



**Figure 13.** Carte de la variation spatiale de la CE des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.3. Potentiel d'hydrogène

C'est l'un des paramètres parmi les plus importants pour la qualité de l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend des facteurs multiples, dans l'origine de l'eau (RODIER *et al.*, 2005) il est soit inférieur ou supérieur à 7.

En analysant les résultats (Fig 14), on peut constater que :

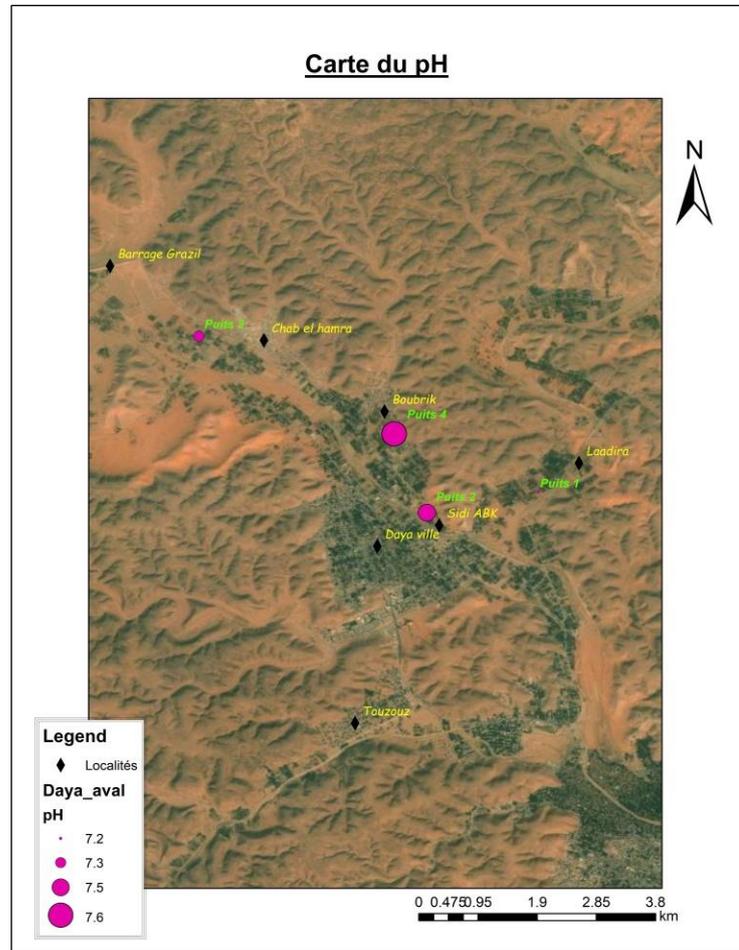
La valeur minimale du pH est 7,2 appartiennent au puits 1, et la valeur maximale est 7,6 au niveau du puits 4.

Les valeurs de pH de puits 2 et 3 sont presque les mêmes, la valeur de pH de P2 est 7,48 alors que P3 a une valeur de 7,50.

Ceci montre que les eaux analysées sont pratiquement neutres et légèrement basiques et que leurs valeurs ne dépassent pas les normes d'irrigation Algériennes et de REUE en agriculture ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ) (Annexe. I).

Les valeurs de pH obtenus sont proches a de celle obtenue par BENZAYET (2006) ( $7,07 \leq \text{pH} \leq 7,98$ ) et par HADJ (2020) (pH : 7,73) pour les eaux de puits de Daya Bendahoua.

Les résultats obtenus par BENGUELIA et HADJ BRAHIM (2018) pour les eaux des forages de Daya Bendahoua sont aussi proches à nos ( $6,70 \leq \text{pH} \leq 7,62$ ).



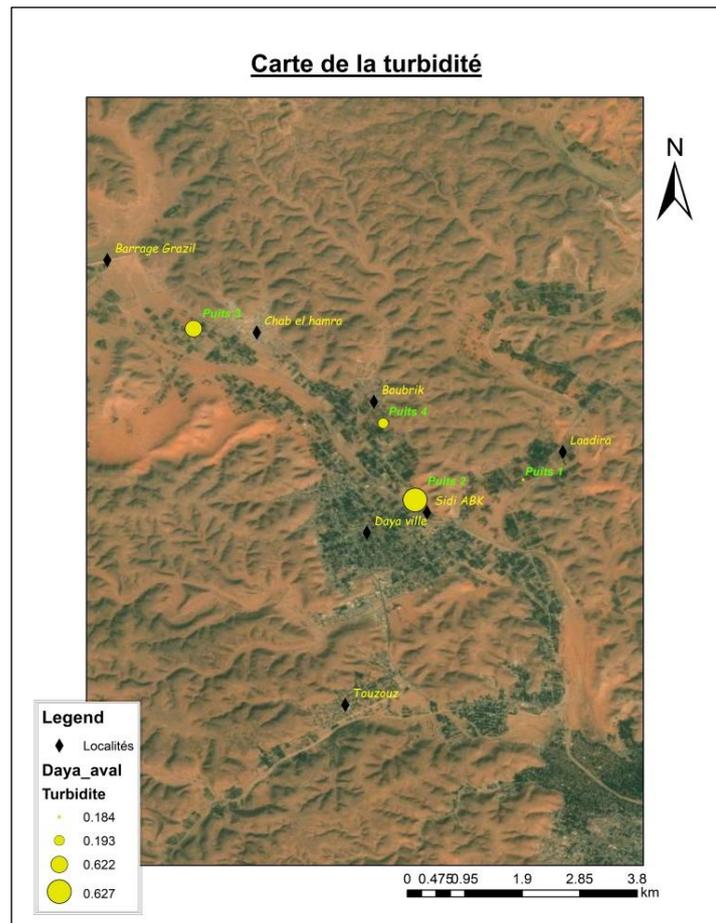
**Figure 14.** Carte de la variation spatiale du pH des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

#### 1.4. Turbidité

La mesure de la turbidité permet de donner les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...etc.). Ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau (HADE, 2007).

Les valeurs de la turbidité mesurées (Fig. 15) révèlent que tous les puits ont des valeurs inférieures à 1 NTU. On a une valeur maximale est enregistrée au niveau de P2 (0,627 NTU) et la valeur minimale est mesurée au niveau de P1 (0,184 NTU).

Les résultats de la turbidité sont supérieurs à celles enregistrées par HADJ (2020) dans la commune de Daya Bendahoua qui ont enregistré (0,260 NTU).



**Figure 15.** Carte de la variation spatiale de turbidité des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

## 1.2. Minéralisation globale

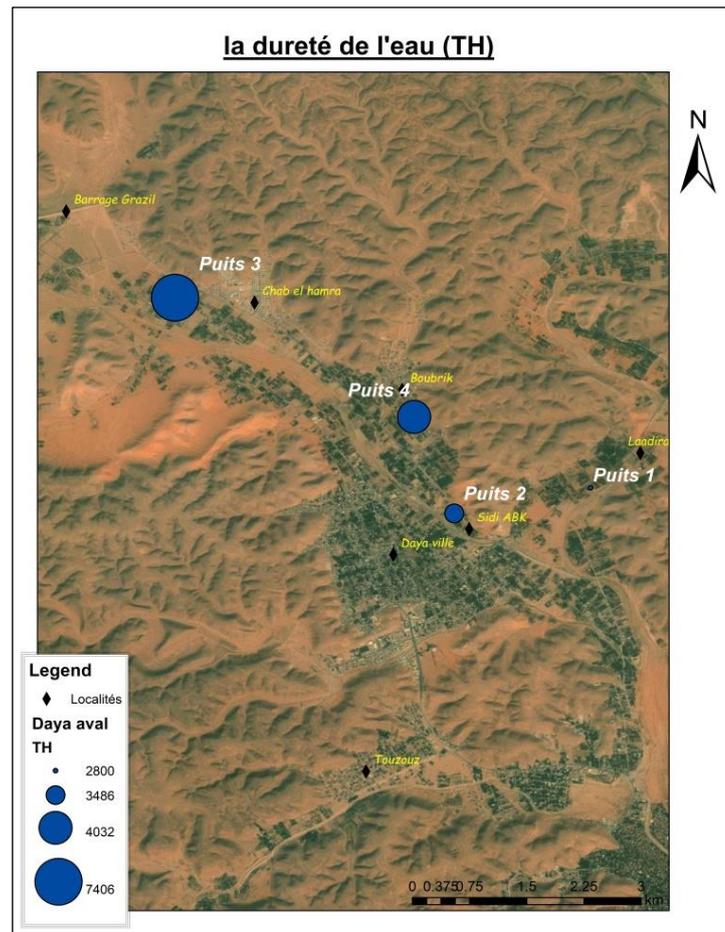
### 1.2.1. Dureté

Les eaux provenant des terrains calcaires et surtout des terrains gypseux, peuvent avoir des duretés très élevées susceptible d'atteindre  $1 \text{ g de CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ .

La dureté est un caractère naturel liée au lessivage des terrains traversés et reflète la concentration en sels minéraux dissous dans plus particulièrement en ions de  $\text{Ca}^+$  et  $\text{Mg}^{+2}$ , plus cette concentration est élevée plus l'eau est dure (RODIER *et al.*, 2009).

La valeur maximale de dureté est  $7406 \text{ mg/l}$  qui appartient au P3, et la valeur minimale est  $2800 \text{ mg/l}$  et se trouve au niveau du P3 (Fig. 16).

D'après HADJ (2020) les valeurs de la dureté des eaux des puits sont inférieure à nos résultats qui elles ont enregistré ( $412 \text{ mg/l}$ ).



**Figure 16.** Carte de la variation spatiale de dureté des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.2.2. Calcium

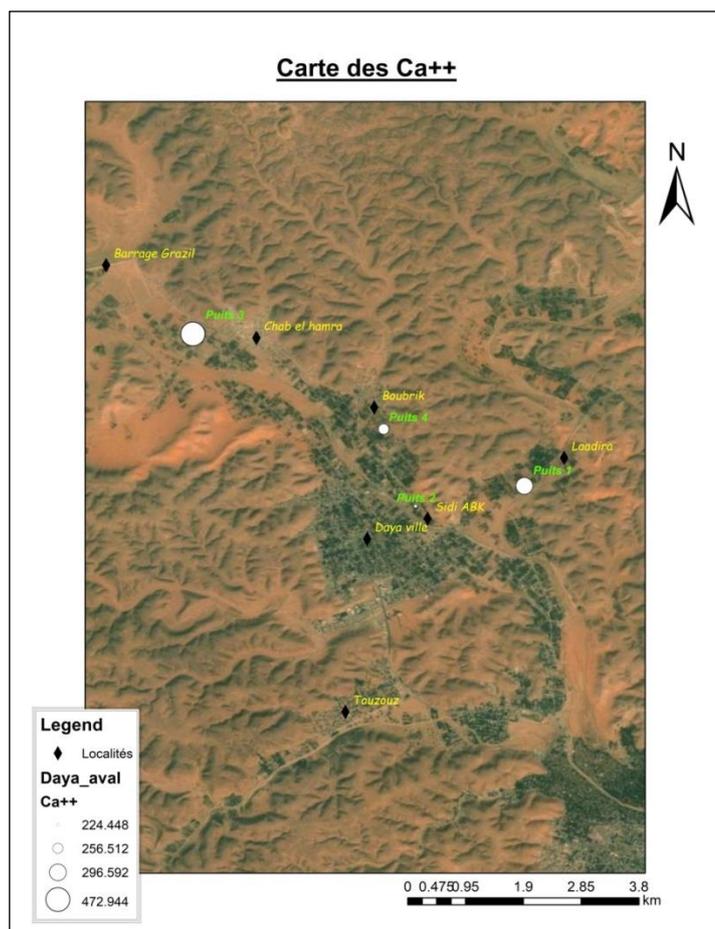
Le calcium est un élément très abondant dans la nature en particulier dans les roches calcaire, il est un métal alcalino-terreux. La présence des ions  $\text{Ca}^+$  dans les nappes est lié principalement à la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ) et formations gypseuse ( $\text{CaSO}_4$ ).

Selon la Fig 17. on peut constater que :

La valeur maximale de  $\text{Ca}^{++}$  est 472,944 mg/l qui appartient au P1, et la valeur minimale est 224,448 mg/l et se trouve au niveau du P2.

Ces fortes concentrations du calcium témoignent des passages de calcaire qui libère les ions sous l'action de la circulation des eaux sous terrains (BOUALLA et SAAD, 2011).

Les résultats de  $\text{Ca}^{++}$  obtenues par nous sont supérieurs par rapport aux résultats obtenus par BAGRA et TELLI (2018) a Oued M'Zab pour les eaux des forages et par HADJ (2020) a Daya Bendahoua pour les eaux des puits qui sont enregistré respectivement ( $120,24 \text{ mg/l} \leq \text{Ca}^{++} \leq 196,392 \text{ mg/l}$ ) et ( $84,97 \text{ mg/l}$ ).



**Figure 17.** Carte de la variation spatiale de  $\text{Ca}^{+2}$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.2.3. Magnésium

Selon RODIER (2009), le Magnésium est un des éléments la plus répandu dans la nature, il constitue environ 02.1% de l'écorce terrestre. Son abondance géologique et sa grande solubilité font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes.

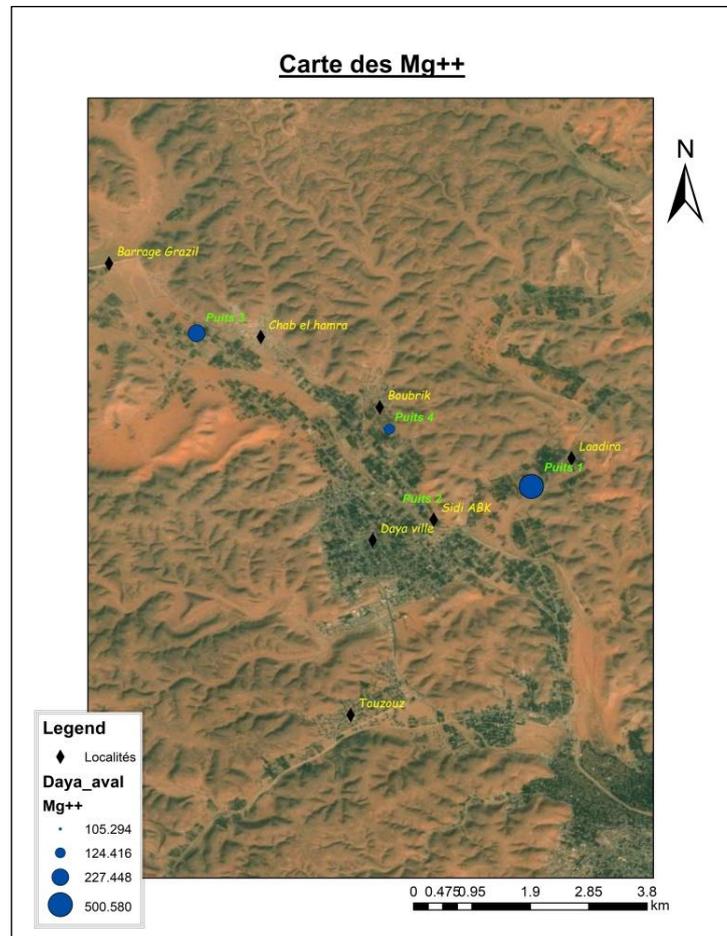
Sa large utilisation industrielle, fait que la teneur dans l'eau peut être importante. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau (LADJEL et TODEFT, 2002).

La valeur maximale de  $\text{Mg}^{2+}$  se trouve au point d'eau P1 (500,580 mg/l) (Fig. 18) et la valeur minimale se trouve au P1 (105,294 mg/l).

Selon les normes de magnésium requis REUE (0.05 mg/l) et les normes Algériennes (0,2 mg/l) la Fig. 18 montre que tous les résultats obtenus sont supérieurs aux normes (Annexe. I).

Les concentrations élevées de  $\text{Mg}^{+2}$  peuvent provenir de la contamination des eaux par l'activité agricole ou bien les rejets industriels.

Les résultats de  $Mg^{++}$  obtenus par nous sont supérieurs par rapport aux résultats obtenus par BENZAYET (2006) a Oued Labiod, et HADJ (2020) a Daya Bendahoua, elles sont enregistrés respectivement ( $34,41\text{mg/l} \leq Mg^{++} \leq 711,41\text{ mg/l}$ ) et ( $48,6\text{ mg/l}$ ).



**Figure 18.** Carte de la variation spatiale de  $Mg^{+2}$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

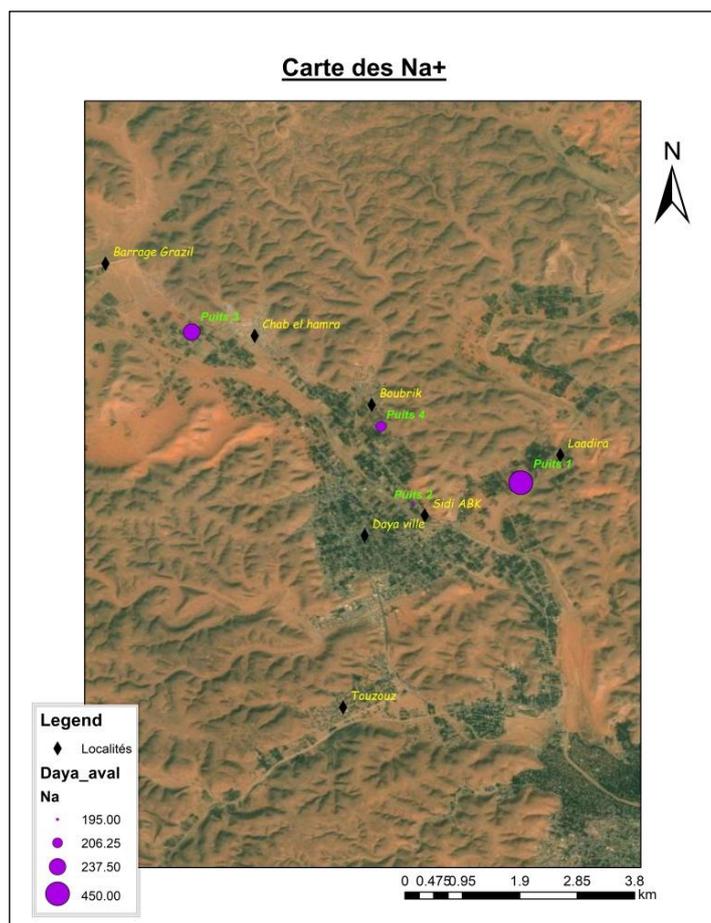
#### 1.2.4. Sodium

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmes variables. Le sodium est un élément vital qui participe à des fonctions essentielles dans l'organisme (RODIER *et al.*, 2009).

La valeur maximale de sodium se trouve au point d'eau P1 (450 mg/l) (Fig. 19), et la valeur minimale est mesurée au P2 (195 mg/l).

Les résultats des 4 puits dépassent les normes de FAO (3 mg/l) (Annexe. I).

Les résultats obtenus par nous sont inférieurs aux résultats obtenus par BENZAYET (2006) pour les eaux des puits dans Oued Lebiod ( $19,23\text{ mg/l} \leq Na^+ \leq 986,27\text{ mg/l}$ ).



**Figure 19.** Carte de la variation spatiale de  $\text{Na}^+$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

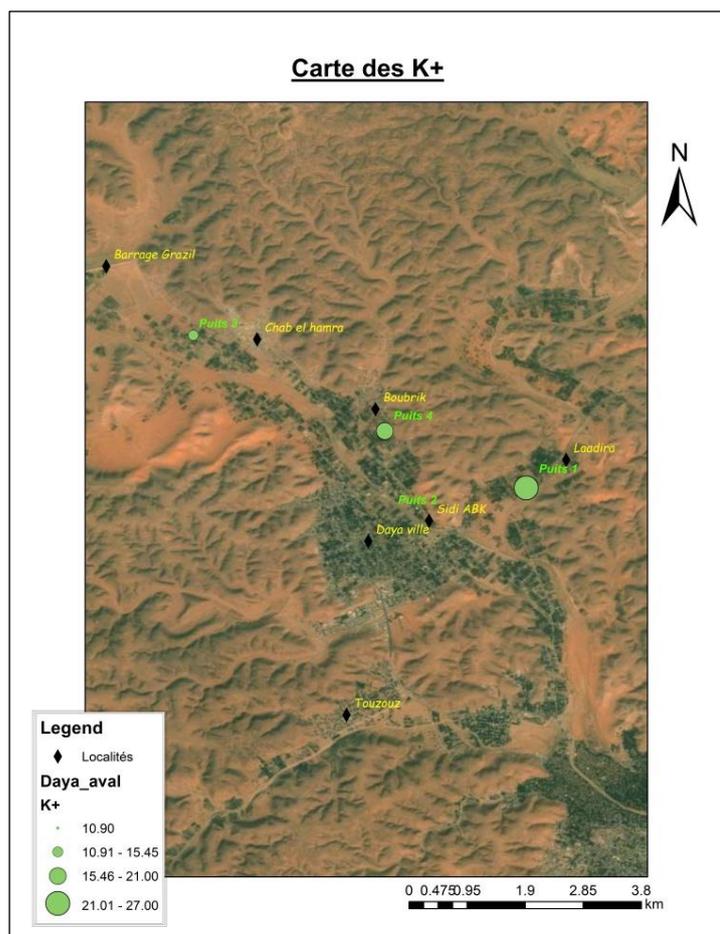
### 1.2.5. Potassium

Le potassium est un élément chimique, sa réaction avec l'eau est d'ailleurs bien plus forte que celle du sodium (FENNISH, 2016).

La valeur maximale de potassium se trouve au point d'eau P1 (27 mg/l) (Fig. 20), et la valeur minimale est mesurée au P2 (10,9 mg/l).

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques, des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl) et sa présence peut être également liée au fêversement des eaux usées (GOUADIA, 2006 ; DJIDEL, 2006 ; BOUTTELI, 2011).

Les résultats obtenue par BENZAYET (2006) a Oued Labiod pour les eaux des puits sont supérieur par apport à nos résultat ( $34,41\text{mg/l} \leq \text{K}^+ \leq 83,33 \text{ mg/l}$ ). Alors que les obtenue par BAGRA et TELLI (2018) pour les eaux des forages de Oued de M'Zab sont inferieur à nos résultats ( $\text{K}^+ \leq 2,66$ ).



**Figure 20.** Carte de la variation spatiale de K<sup>+</sup> des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.2.6. Chlorure

Les chlorures sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de sodium (NaCl) de potassium (KCl) et de calcium (CaCl<sub>2</sub>). La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la dissolution de dépôt de sel gemme, aux effluents de l'industrie chimique, aux rejets des égouts (BOIZIANI, 2000 et BENHEDID, 2014).

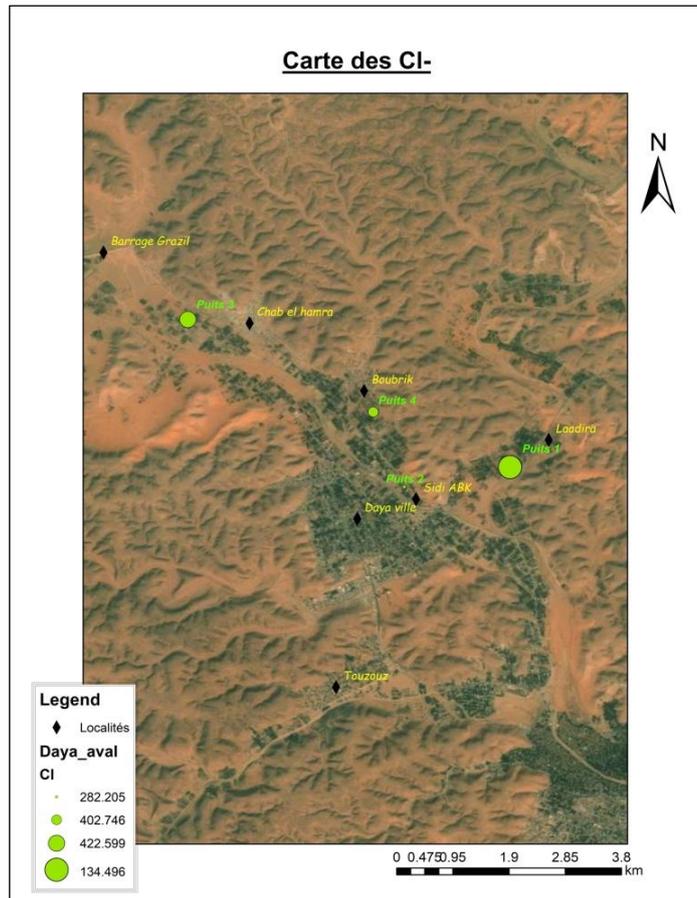
La valeur maximale de Cl<sup>-</sup> se trouve au point d'eau P1 (1134,496 mg/l) et la valeur minimale se trouve au P2 (282,205mg/l) (Fig. 21).

Selon les normes de chlorure requit de REUE (10 meq/l) et les normes Algériennes (350 mg/l) la Fig. 21 montre que les résultats obtenus au P1 P3 et P4 sont supérieur aux normes (Annexe. I). En revanche les résultats de P2 sont inférieurs aux ces normes alors qu'ils dépassent les normes de FAO (Annexe. III).

La présence de Cl<sup>-</sup> dans l'eau est souvent due à la nature des terrains traversés qui résulte de la dissolution des (KCl) et (NaCl) (SAOUDI, 2014). On les trouve peut-être dans toutes les eaux naturelles (Degbey, 2011).

Les résultats d'orthophosphate sont supérieurs à celles enregistrées par HADJ (2020) a Daya Bendahoua qui elles ont enregistré (69,487 mg/l).

En revanche les résultats obtenues par BENZAYET (2006) a Oued Labiod et par BAGRA et TELLI (2018) a Oued M'Zab pour les eaux des forages sont supérieurs à nos résultats et ils sont enregistré respectivement ( $73,84 \text{ mg/l} \leq \text{Cl}^- \leq 2483,58 \text{ mg/l}$ ) et ( $290 \text{ mg/l} \leq \text{Cl}^- \leq 141,181 \text{ mg/l}$ )



**Figure 21.** Carte de la variation spatiale de Cl<sup>-</sup> des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.2.7. Bicarbonates

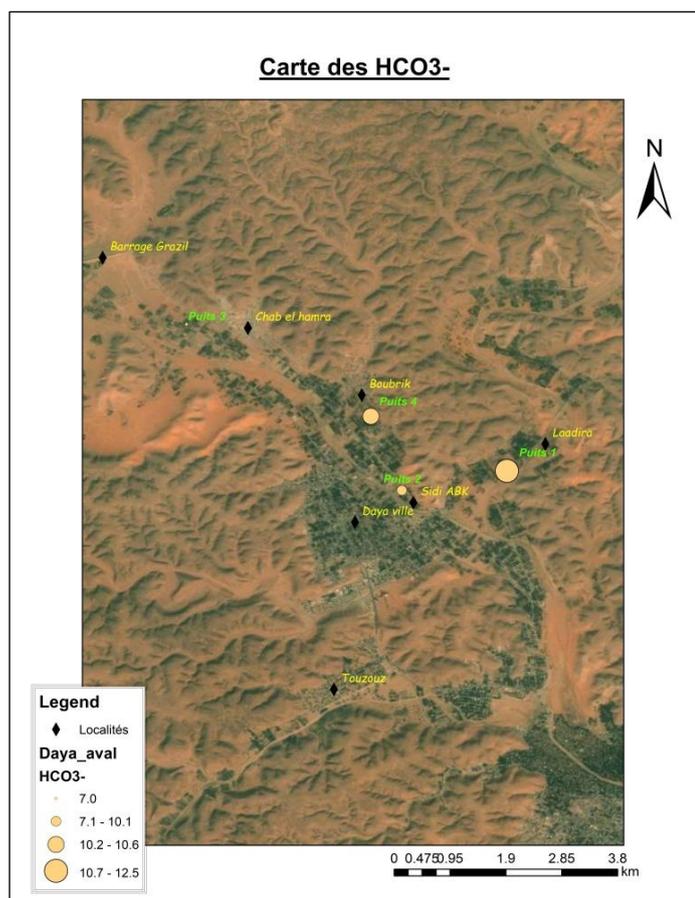
C'est l'indice du pouvoir tampon de l'eau, il est étroitement lié à la dureté, bien que de nombreuses espèces de solutés puissent y contribuer (HADJ, 2020).

L'ion Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du  $\text{CO}_2$  à partir des minéraux contenant des carbonates (HIMMI *et al.*, 2003).

Selon les normes Algériennes (500 mg/l) et de REUE (8.5 meq/l), nos résultats montrent que les 4 échantillons étudiés présentent des valeurs inférieures aux normes.

La valeur maximale se trouve au point d'eau P1 (12,5 mg/l), et valeur minimale est mesurée au point d'eau P3 (7 mg/l), en revanche les valeurs de  $\text{HCO}_3^-$  de P2 et P4 sont très proches (10,1 mg/l- 10,6 mg/l) (Fig. 22).

Nos résultats des bicarbonates sont inférieurs aux résultats de l'Oued M'Zab en 2018 par BAGRA et TELLI (2018) ( $14,4 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 239,12 \text{ mg/l}$ ), ils sont aussi inférieur à la valeur maximale signalée par BENZAYET (2006) a Oued Labiod et HADJ (2020) a Daya Bendahoua ce qui est en ordre ( $131 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 299 \text{ mg/l}$ ) et (158,6 mg/l).



**Figure 22.** Carte de la variation spatiale de  $\text{HCO}_3^-$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.2.8. Sulfate

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles : l'eau s'en charge en traversant les schistes et les gypses par exemple. Des apports industriels ont aussi lieu (BENHEDID, 2014).

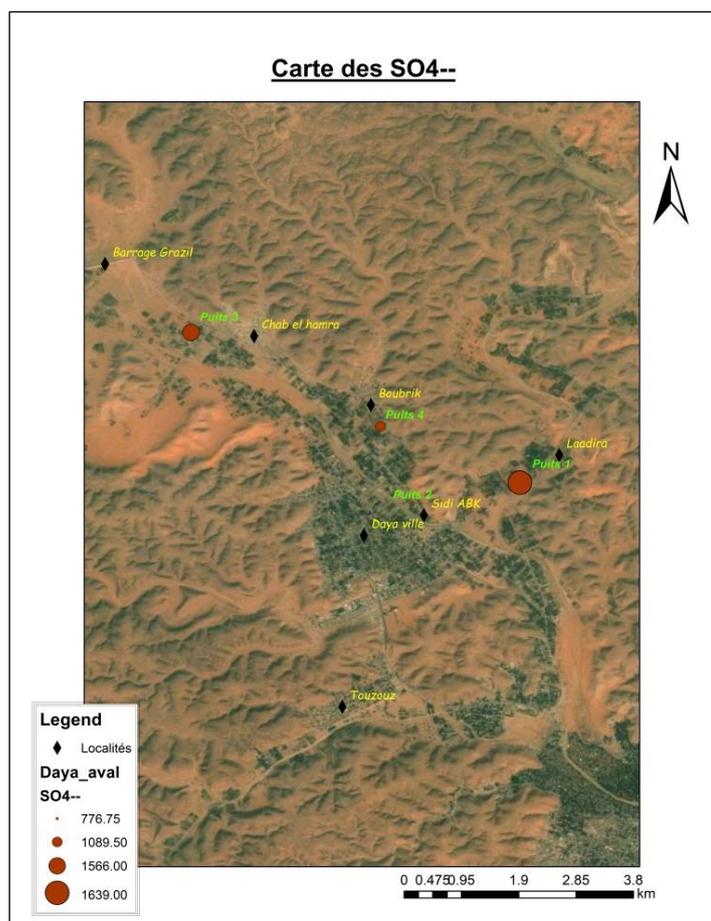
D'après les résultats du Fig 23. nous constatons :

Le sulfate présente une valeur maximale de 1639 mg/l au niveau de puits P1 et une valeur minimale de 776,75 mg/l au niveau de puits P2.

Les résultats obtenus montrent que les 4 puits dépassent les normes Algérienne (300 mg/l) alors que les résultats de P2 ne dépassent pas les normes.

La teneur de  $\text{SO}_4^{-2}$  obtenus par BAGRA et TELLI (2018) dans les eaux des forages d'Oued de M'Zab sont inférieurs à nos résultats et ils varient entre ( $162,15 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^{-2} \leq 550,65 \text{ mg/l}$ ).

Le résultat obtenu par HADJ (2020) dans la commune de Daya Bendahou pour l'eau de puits et aussi inférieur à nous résultats (218,121 mg/l).



**Figure 23.** Carte de la variation spatiale de  $\text{SO}_4^{-2}$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahou

### 1.3. Paramètres de la pollution

#### 1.3.1. Ammonium

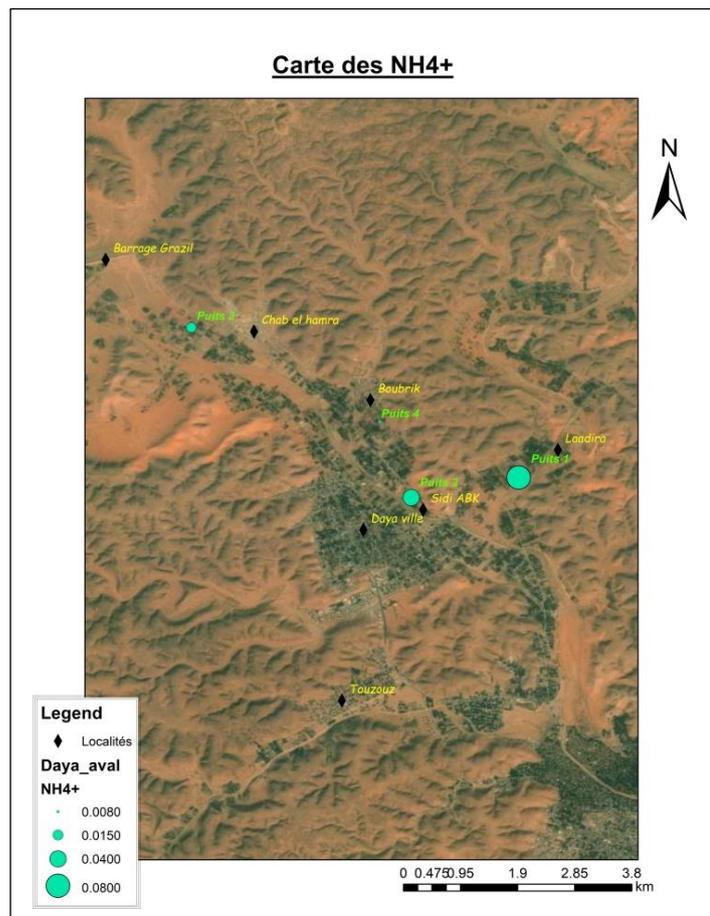
La valeur maximale de  $\text{NH}_4^+$  est enregistrée au puits P2 (0,015 mg/l) et la valeur minimale est mesurée au niveau de P4 0,008 mg/l (Fig. 24), donc elle ne dépasse pas les normes de REUE (20 mg/L) (Annexe. I).

L' $\text{NH}_4^+$  dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique.

Il s'agit donc d'un excellent indicateur de pollution de l'eau par les rejets organiques agricoles, domestiques ou industriels (AMIEUR, 2021).

Les résultats obtenus aux niveaux des 4 puits respectent les normes Algériennes (0.5 mg/l).

Selon BAGRA et TELLI (2018) les résultats des eaux des forages de la vallée de M'Zab sont proches de nos résultats ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{NH}_4^+ \leq 0,024$ ), en revanche les résultats obtenue par BENZAYET (2006) dans Oued Labiod sont supérieur à nos résultats ( $0,04 \text{ mg/l} \leq \text{NH}_4^+ \leq 0,97 \text{ mg/l}$ ).



**Figure 24.** Carte de la variation spatiale la  $\text{NH}_4^+$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.3.2. Fer

Le fer est le quatrième élément abondant dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. Il peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes (GOUADIA, 2018 ; RODIER *et al.*, 2009).

Le fer est un élément indispensable au fonctionnement du corps humain. Les besoins journaliers sont estimés à environ 10 mg/jour, selon l'âge et le sexe.

La présence du fer dans les sources naturelles indique une décomposition des roches et des minéraux du sol (KIRKPATRICK et FLEMING, 2008).

Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire un pH, variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent, et est généralement à l'état ferreux ( $\text{Fe}^{++}$ ). Si le milieu est réducteur, comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées (GOUADIA, 2018 ; RODIER *et al.*, 2009).

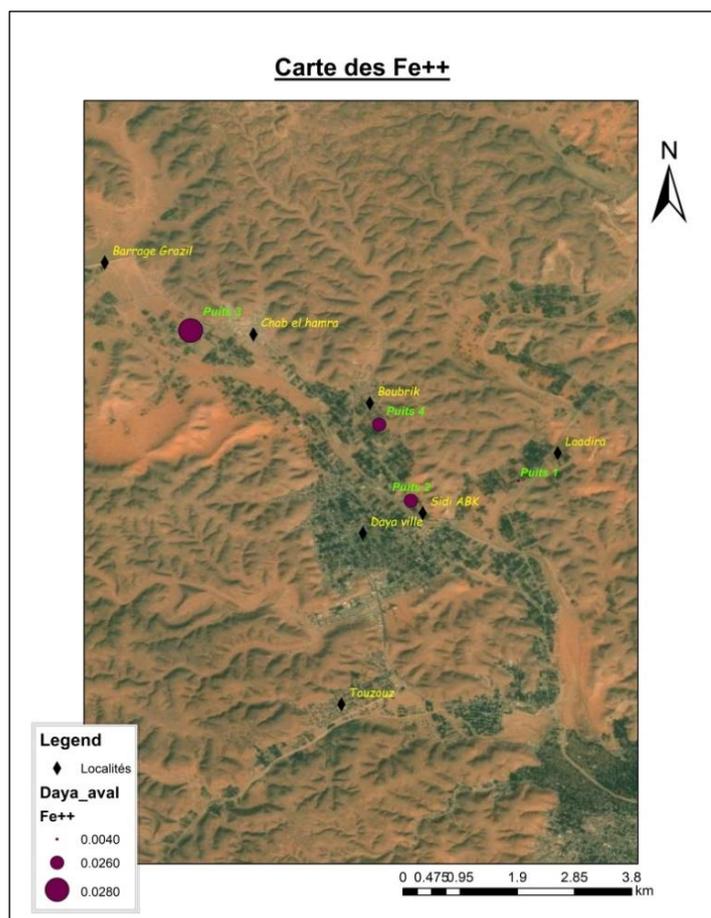
Dans la Fig. 25 on a 3 classes de  $\text{Fe}^{++}$ , en analysant ces résultats on peut constater que :

-La valeur maximale de  $\text{Fe}^{++}$  est 0,028 mg/l appartiennent au P1, et la valeur minimale de  $\text{Fe}^{++}$  est 0,004 mg/l elle se trouve au niveau du P3.

-Alors que P2 et P4 ont la même valeur 0,026 mg/l.

Tous ces résultats obtenus respectent les normes Algériennes (5 mg/l) et de REUE (20 mg/l) (Annexe. I).

Lorsqu'on compare les teneurs en fer avec les résultats de HADJ (2020) de l'eau de puits de Laadira qui elles ont enregistré (0,010 mg/l) et de BAGRA et TELLI (2018) de forages de Oued de M'Zab on trouve que les résultats sont proches ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{Fe}^{2+} \leq 0,76 \text{ mg/l}$ ).



**Figure 25.** Carte de la variation spatiale de la  $Fe^{+2}$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 1.3.3. Orthophosphates

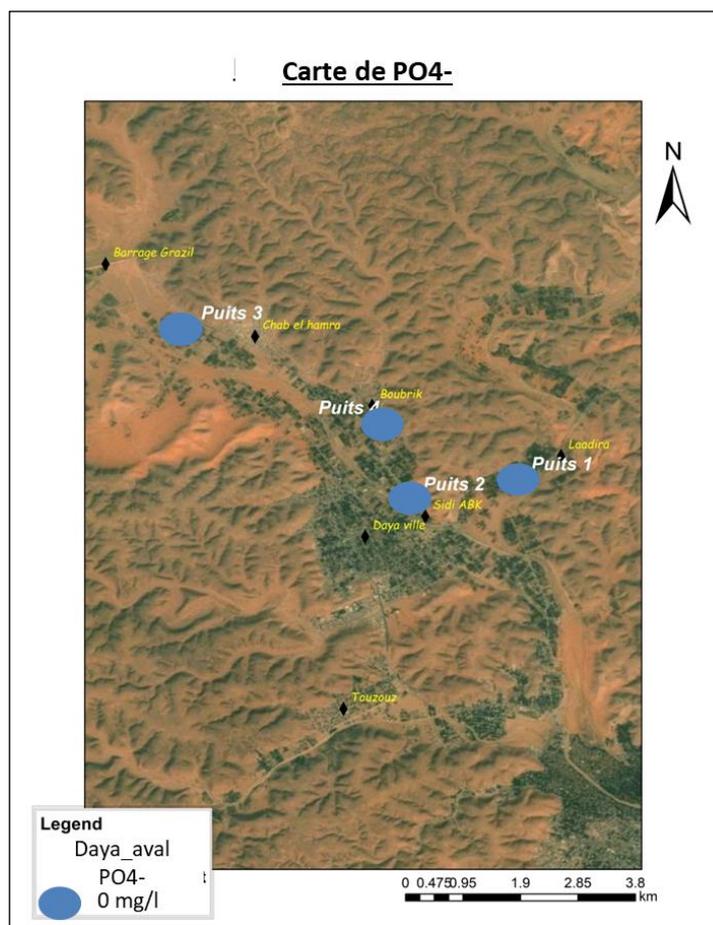
Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension. Le phosphore totale dissous comprend le phosphore organique et inorganique qui inclut les orthophosphates et les polyphosphates (BADIA GONDARD, 2003 ; RODIER, *et al.*, 2009).

Concernant le phosphore on a obtenu les mêmes résultats pour chaque échantillon 0 mg/l.

D'après TARDAT (1992) en absence d'apport d'oxygène, les phosphates n'existent qu'à l'état de traces dans les eaux naturelles, leur introduction dans les eaux de surfaces (rivières, lacs) se fait par les eaux usées dont l'épuration est souvent insuffisante.

Selon SAMAKE (2002) la présence de phosphates favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière par des phénomènes de l'eutrophisation.

Les résultats de  $PO_4^-$  obtenues par nous (Fig. 26) sont inférieurs par rapport aux résultats obtenus par BAGRA et TELLI (2018) a Oued M'Zab et HADJ (2020) a Daya Bendahoua, elles sont enregistrés respectivement (0,472 mg/l) et (0,010 mg/l).



**Figure 26.** Carte de la variation spatiale de la  $PO_4^-$  des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

## 2. Résultats des analyses bactériologiques

Les analyse bactériologiques consiste à la recherche des Coliformes totaux et fécaux, des Streptocoques fécaux (E. Coli) (Annexe. I).

### 2.1. Coliformes totaux et fécaux

Les coliformes totaux (CT) sont des bactéries en forme de bâtonnet à Gram négatif, facultativement anaérobie.

Elles sont utilisées depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau.

Les coliformes fécaux (CF) ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux, sa présence témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale (FRANK, 2002 ; CEAEQ, 2000 ; INSPQ, 2003 ; RODIER *et al.*, 2009).

D'après CHEVALIER (2003), les Coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Le tableau suivant (Tabl III.)

## 2.2 Les streptocoques fécaux

La détection d'entérocoques dans une nappe d'eau souterraine doit faire penser à une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes (CHEVALIER, 2002 ; LADJEL, 2009). Selon (FIGARELLA et LEYRAL, 2002 ; RODIER *et al.*, 2005).

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant (Tabl III.)

**Tableau III.** Les résultats des analyses bactériologiques de l'échantillon pour les eaux des puits

Paramètres	Unité	Résultats			
		P1	P2	P3	P4
Coliformes totaux	UFC	00	00	<100ufc	<100ufc
Coliformes fécaux (E. coli)	UFC	00	00	<100ufc	<100ufc
Streptocoques fécaux	UFC	00	00	<100ufc	<100ufc

UFC : unité forment colonie    E.coli : Escherichia coli

On remarque la présence des bactéries étudiée aux niveaux des points d'eau P3 et P4 qui sont enregistré 100 UFC, alors que ils sont absent aux niveaux des point d'eaux P1 et P2.

Les résultats obtenue montre que il y a pas de pollution bactériologique aux niveaux des puits, car ces résultats sont compatibles avec les normes (<100 UFC) (Annexe. III).

## 3. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation varie en fonction de la nature et de la quantité des sels dissous (DADDI BOUHOUN, 1997). L'augmentation de ce dernier va créer plusieurs problèmes pour le sol et par la suite aux plantes.

Il y a des nombreuses solutions proposée par apport la classification des eaux. Selon RICHARD *et al* (1954) cité par DURAND (1983), la solution de ce problème dépend sur 2 caractères principaux le risque de salinisation et le danger d'alcalinisation qui était donné par le laboratoire de RIVERSIDE.

### 3.1. Classification des eaux d'irrigation selon PIPER

Afin de déterminer le faciès géochimique des eaux d'irrigation utiliser dans la commun de Daya Bendahoua ont à utiliser le diagramme de Piper et Schöeller Berkallof (Fig. 27).

La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu en 2009 au laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon par SIMLER Roland. La présentation des analyses chimiques sur ce type de diagramme permet d'avoir une idée globale sur la composition chimique des eaux.

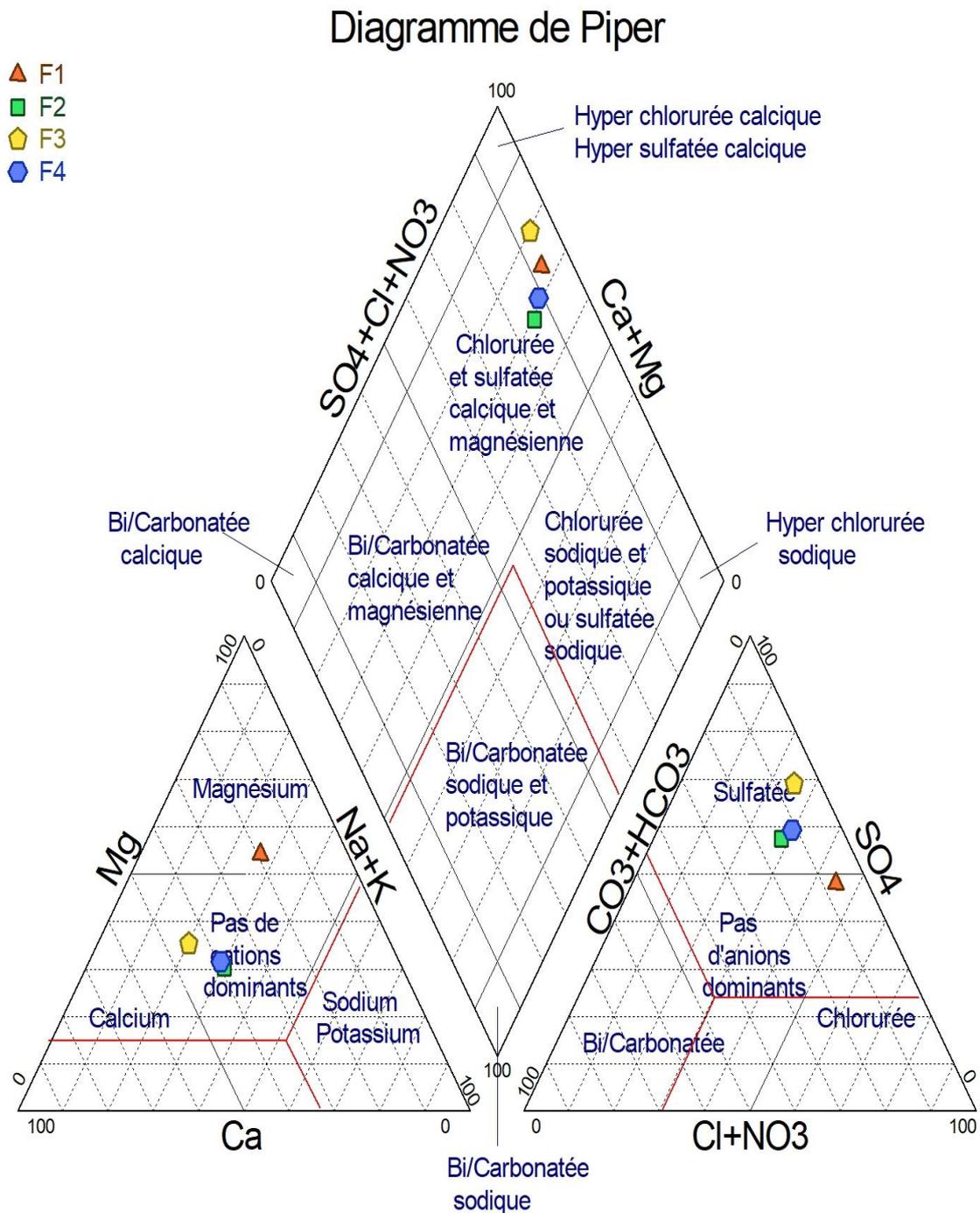
Le principe consiste à représenter dans chaque triangle les quantités en réaction pour chaque cation ou anion après on obtient un point triple soulignant la prédominance d'un anion ou d'un cation.

Ces deux points triples donnent un point critique représentant la nature chimique de l'échantillon considéré.

Le diagramme de piper montre que cette région présent deux faciès, une sulfaté magnésien et l'autre sulfatée équilibrée calcique magnésienne et sodique.

P1 : eau a faciès sulfaté magnésien.

P2, P3 et P4 : eau a faciès sulfatée équilibrée calcique magnésienne et sodique.



**Figure 27.** Représentation des analyses d'eau de la commune de Daya Bendahoua le diagramme de PIPER

### 3.2. Risque de salinisation

La salinité provoque des effets directs sur les végétaux et des risques de salinisation du sol.

Elle caractérise la faculté de l'eau à laisser passer le courant électrique, et augmente avec la concentration des ions en solution et la température (BEKKOUCHE, 2016).

La salinité de l'eau est exprimée par la conductivité électrique en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elle nous permet de déterminer 2 classes d'eau qui sont les suivantes (DURAND, 1983) (Annexe. II):

- C4 ( $2250 < \text{CE} < 5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ): Eaux à trop forte salinité, inutilisables normalement à l'exception des sols très perméables avec un bon drainage. 1 échantillon d'eau appartient à cette classe (P1).

- C5 ( $5000 < \text{CE} < 20000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ): Eaux à salinité excessive. L'ajout de cette classe par DURAND (1983), pour tenir compte des eaux sahariennes très salines qui sont supérieures à ( $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), la limite de 20000 a été choisie en tenant compte de la tolérance du palmier dattier. Trois échantillons d'eau appartiennent à cette classe (P2, P3 et P4)

### 3.3. Risque d'alcalinisation

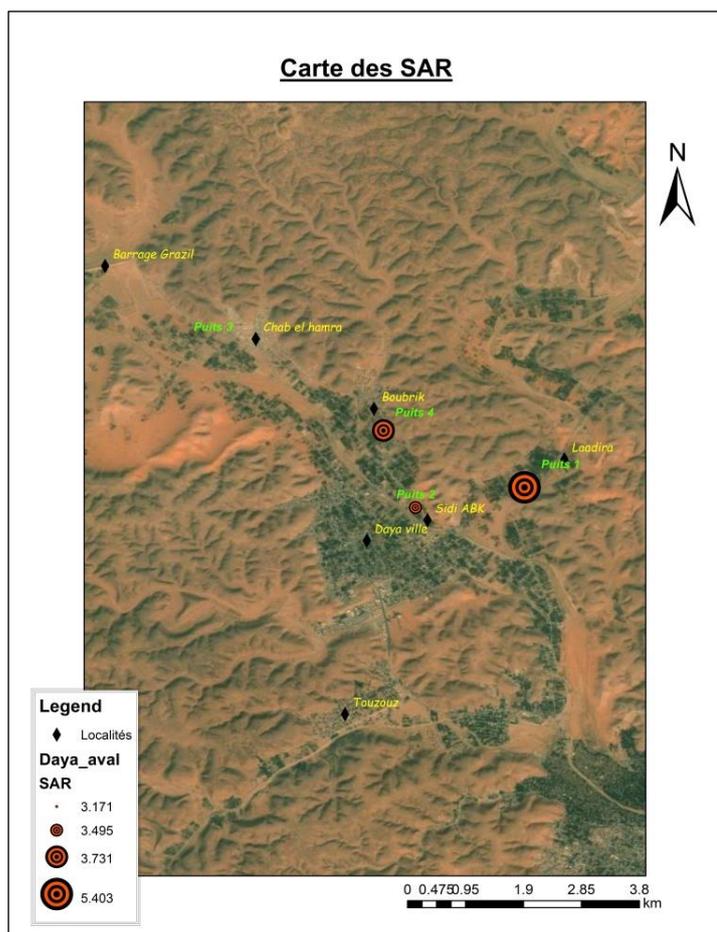
Les SAR (Sodium absorption ratio), il s'agit également d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalinisation, le risque d'alcalinisation du sol est estimé en fonction du sodium absorbable par le sol, le niveau de ce risque est déterminé par le SAR (Fig. 28).

La présence d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration, ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles du sol en conséquence il cause la dispersion des particules dans le sol, le milieu devient imperméable et asphyxiant.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Nous remarquons que les valeurs du SAR dépassent les normes Algériennes (3) et que :

- P1 : Danger d'alcalinisation moyenne
- P2, P3 et P4 : Danger d'alcalinisation faible



**Figure 28.** Carte de la variation spatiale de SAR des eaux étudiées de la commune de Daya Bendahoua

### 3.4. Détermination de la classe d'irrigation

La classification de RIVERSIDE permet de déterminer la classification des eaux d'irrigation par classe en fonction des paramètres mesurés du SAR et de la CE (Fig. 29).

Le diagramme de RIVERSIDE est modifié pour être utilisé d'une manière plus générale par l'addition de la classe C5 pour tenir compte des eaux sahariennes très salines qui sont supérieures à 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Durand, 1983).

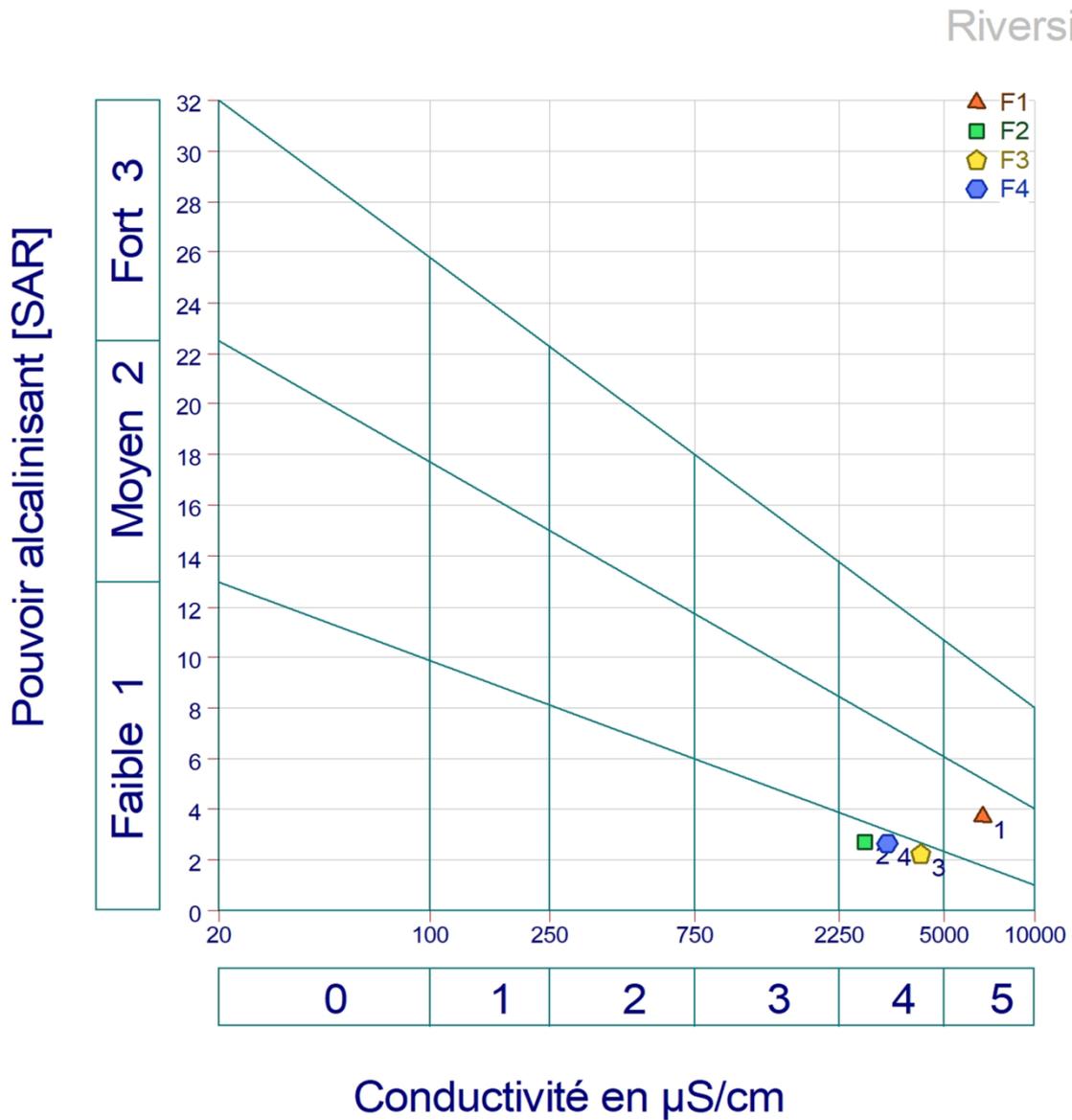
Le diagramme de RIVERSIDE montre les 2 classes suivantes :

- C4-S2: Elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d'alcalinisation faible, cette classe contient trois points d'eaux P2, P3 et P4. Ils sont des eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés (GOUAIDIA *et al.*, 2013).

Ces eaux inutilisables normalement, à l'exception des sols très perméables avec un bon drainage, et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels (BENHEDID *et al.*, 2019)

- C5-S2: Elle renferme des eaux d'une salinité excessive avec un danger d'alcalinisation moyen; cette classe contient un seul point d'eaux P1.

D'après Daddi Bouhoun (1997) et Couture (2004), la C.E. élevée des eaux pourrait provoquer un excès des sels solubles dans le sol, et engendrer ainsi une diminution de l'absorption de l'eau par les plantes (phénomène de la pression osmotique), et par conséquent, une réduction de la croissance végétale en fonction de la tolérance des cultures à la salinité.



**Figure 29.** Qualité des eaux des puits d'irrigation dans la région d'étude en fonction de la CE et du SAR

# Conclusion générale

Notre modeste travail a pour but d'évaluer la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans la commune de Daya Bendahoua, ce qui a nous permis d'avoir quelques caractéristiques de ces puits et de nous ramène à faire plusieurs constatations et recommandations.

A cet effet, les résultats des analyses réalisées sur les eaux de quatre puits (Boubrik, embouchure de Oued Laadira, Sidi Abd Elkader, Shaba el hamra) exploités pour l'irrigation au niveau de la commune, nous ont permis d'avoir quelques caractéristiques de ces puits:

Toutes les eaux des puits sont caractérisées par un pH neutre ( $7,23 \leq \text{pH} \leq 7,56$ ). Concernant la conductivité électrique tous les puits ont une conductivité élevée et sont non compatibles aux normes Algérienne ( $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) et aux normes de REUE ( $3 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), ce qui signifie que ces eaux sont chargées en éléments.

Les eaux des puits sont claires et compatibles aux normes de la turbidité 05 NTU. Concernant les paramètres de pollution (l'ammonium, le phosphate et le fer), tous les puits ne dépassent pas les normes Algériennes ce qui montre l'absence de contamination de ces eaux.

La classification de PIPER montrent l'existence d'un faciès chimique dominant qui est le faciès sulfaté magnésienne au niveau de P1, alors que le faciès chimique aux niveaux de P2, P3 et P4 est sulfatée équilibrée calcique magnésienne et sodique.

Selon la classification du laboratoire Américain Riverside (USSL de Riverside, 1954), toutes les des points d'eaux analysées sont chargés en sels, P2, P3 et P4 appartiennent à la classe C4-S1, Ceci montre que ces eaux sont susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels telle que le palmier dattier. Alors que le point d'eau P1 appartient à la classe C5-S2, cette eau ne convenant pas généralement à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels.

D'après les résultats des analyses bactériologiques, cette eau est contaminée par la présence des coliformes totaux et streptocoques fécaux aux niveaux de P3 et P4, cette contamination ne cause aucun danger car elle est compatible avec les normes FAO. En conséquence, il est vivement recommandé une surveillance accrue ponctuée par un contrôle rigoureux et régulier tout au long de l'année de cet élément vital.

Sachant que l'eau est un milieu favorable à la prolifération de germes et autres organismes pathogènes vivants quand elle est polluée par de la matière organique.

Les recommandations ci-dessous visent à éclairer certains problèmes qui ont été observés :

Le drainage de sol, peut être utilisé pour modifier le sol et le rendre moins lourds en minéraux et plus perméable de sorte que l'eau ne gèle pas au niveau de la racine et le protéger contre l'asphyxie et prévenir la mort des plantes.

Optimiser l'utilisation des eaux souterraines et sensibiliser les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles.

Il faut aussi menant des campagnes de sensibilisation en matière de préservation et de protection des eaux souterraines utilisées en irrigation agricole.

Comme solution contre les bactéries on peut les combattre en utilisent chlore.

La nécessité de fournir toutes les capacités de faire les analyses physicochimiques et bactériologiques au laboratoire.

## **Références bibliographiques**

- **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., 2009.** Analyse de l'eau. 9<sup>ème</sup> édition. Ed. Dunod, Paris. 1526p.
- **AMIEUR M., 2021.** Contribution à l'étude de la variation spatiale de la qualité des eaux de la nappe phréatique dans la vallée de Metlili (wilaya de Ghardaïa). Ghardaïa Mémoire de Master en Ecologie, Université Ghardaïa.
- **ANRH., (2010).** Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence nati. res. hyd. Ouargla, 10P.
- **ANRH., (2011).** Notes relatives aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Rapport de l'Agence Nationale. Ressources Hydrauliques
- **BAHAZ K, MANSOUR K., 2020.** Qualité des eaux souterraine destinées a la consommation humaines (Cas d'étude Oued M'Zab Wilaya de Ghardaïa) Mémoire de Master en Ecologie, Université Ghardaïa.
- **BEGRA M, TELLI H., 2018.** Qualité physico chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe phréatique et la nappe albienne de la vallée de M'Zab, wilaya de Ghardaïa Mémoire de Master en Ecologie, Université Ghardaïa.
- **BELMOKHTAR H, DAHOU F., 2018.** Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la vallée de Metlili. Mémoire de Master en Ecologie, Université Ghardaïa.
- **BENGUELIA R, HADJ BRAHIM A., 2018.** Etude hydrogéologiques de continental intercalaire dans la région de Ghardaïa. Mémoire de Master en Hydrogéologie, Université Ouargla.
- **BENSLAMA A., 2021.** Qualité des eaux d'irrigation et salinisation des sols dans une palmeraie dans la région de Ghardaïa (Cas de Zelfana). Thèse de doctorat en Ecologie saharienne, Université Ghardaïa.
- **BENZAYET B., 2010.** Évaluation hydro chimique des eaux souterraines de la vallée de M'Zab (Cas de Oued Labiod). Mémoire de Master en Hydraulique, Université Ghardaïa.
- **DOUADI I, BENABDERRAHMANE Y., 2021.** Situation actuelle de la gestion des eaux non conventionnelles dans la vallée du M'Zab (wilaya de Ghardaïa). Mémoire de Master en Ecologie et Environnement, Université Ghardaïa.
- **GERBOUZ F., 2006.** Contribution d'étude cinétique de la qualité de l'eau potable au niveau de la ville de Metlili (Ghardaïa) Mémoire de Master en Ecologie Végétale et Environnement, Université Ghardaïa.

- **HADJ C., 2020.** Etude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique entre eau de puits de Si Abdelghani (Tiaret) et Puits de Daïa (Ghardaïa), Mémoire de Master en Génie chimique, Université Ghardaïa.
- **LAOUBI M, BENSABA M., 2020.** Etude de la qualité des eaux usées industrielles de rejet de la raffinerie RA1/K à la zone de SKIKDA Mémoire de Master en Ressources en eau, Université Ghardaïa.
- **MOHAMED ABDALLH BEKAH A., 2018.** Contribution a l'analyse des eaux albiennes de la région de Ghardaïa et classification de ces eaux suivant les diagrammes de potabilité. Mémoire de Master en Génie chimique, Université Ghardaïa.
- **MOULAY OMAR R, DJEKAOUA R., 2021.** Evaluation de la qualité biologique des eaux de l'aquifère alimentant la commune de Metlili, Mémoire de Master en Ecologie Végétale et Environnement, Université Ghardaïa.
- **MEKHOLOUFI A, OUANOUGHY R., 2017.** Etude des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux du barrage de BOUKOURDANE (Tipaza). Mémoire de Master en sciences de l'eau, Université Saad DAHLAB BLIDA-1.
- **NAAM H., 2019.** Etude de qualité des eaux de forges ALBIEN de la région de Hassi Messaoud. Wilaya d'Ouargla. Mémoire de Master en Ressource Hydraulique, Université Ghardaïa.
- **Ouannas K., 2019.** Etude de la qualité des eaux souterraine et leur aptitude à l'irrigation au niveau de la région d'Ouargla. Mémoire de Master en Hydraulique urbaine, Université Ghardaïa.
- **OULAD LARBI K, OULAD LAID F., 2021.** étude hydro-chimique de continental Intercalaire dans la région de METLILU6 Wilaya de GHARDAIA Mémoire de Master en Ecologie, Université Ghardaïa.

# Annexes

**Annexe I.** Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Source : journal officielle, 2011).

Paramètre	Unité	Valeurs maximale
		Normes Algérien (2011)
pH		6,5-8,5
Conductivité électrique	us/cm à 25C°	<3000
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	30
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	300
Chlorures (CL <sup>-</sup> )	mg/L	350
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	350
SAR	/	<3
Fer (Fe <sup>++</sup> )	mg/L	5
Magnésium (Mg <sup>++</sup> )	mg/L	0,2
Sodium (Na <sup>++</sup> )	mg/L	/
Potassium (K <sup>-</sup> )	mg/L	/
Calcium (Ca <sup>++</sup> )	mg/L	/

**Annexe II.** Classification des eaux basées sur la CE, selon DURAND, 1983

Classe de salinité	CE µS/cm	Salinité des eaux
C1	<250	Eau non saline
C2	250-750	Eau à salinité moyenne
C3	750-2250	Eau à forte salinité
C4	2250-5000	Eaux à très forte salinité
C5	5000-20000	Eau à salinité excessive

**Annexe III.** Directive pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (F.A.O, 1985 in F.A.O, 2003).

Problème potentiels en irrigation	Degré de restriction à l'usage		
	Aucun	Légère à modéré	Sévère
<b>Salinité</b> C.E (dS/m)	<0.7	0.7-3	>3
<b>Toxicité des ions spécifiques Sodium (Na+)</b>			
• Irrigation de surface (S.A.R.)	<3	3-9	>9
• Irrigation par aspersion (meq/l)	<3	>3	-
<b>Chlorure (Cl-)</b>			
• Irrigation de surface (meq/l)	<4	4-10	>10
• Irrigation par aspersion (meq/l)	<3	>3	-
<b>Bore(B) (mg/l)</b>	<0.7	0.7-3	>3
<b>Effets divers</b>			
Azote (NO <sub>3</sub> -N) (mg/l)	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (meq/l)	<1.5	1.5-8.5	>8.5
<b>PH</b>	Gamme normale :6.5-8.4		

Recommandations microbiologiques pour la REUE en agriculture (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).

Groupe des Cultures à irriguer	Critères de qualité microbiologiques	
	Nématodes (œufs / L) (moyenne arithmétique)	Coliformes Fécaux (CFU / 100 ml) (moyenne géométrique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	Absence	< 100
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	< 0.1	< 250
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	<1	Seuil recommandé <1000
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	Pas de norme recommandée	1000

## Annexe IV. Prélèvement d'eaux



Puits Sidi Abd elkader



Puits Chaba el hamra



Puits boubrique

## Annexe V.

## Analyses physico-chimiques



pH-mètre



Conductivité mètre



Turbidité mètre



Echantillons



Spectrophotomètre UV 440µm

Réactifs de  $\text{NH}_4^+$ 

Réactif mixte de fer



Acide ascorbique et molybdate d'acide



Spectrophotomètre à flamme



Spectrophotomètre DR 6000

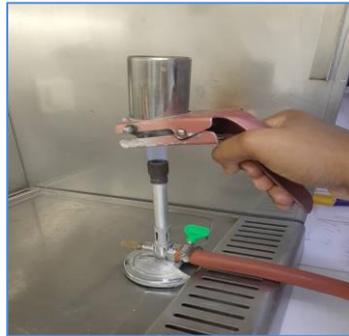


Titration

### Analyses bactériologiques



Rampe de filtration



Stérilisation



Filtre 0,45 µm



Déchargement d'eaux



Lecteur des analyses coliforme totaux et fécaux /Lecteur des analyses Streptocoques / lecteur d'Erecheria Coli

## Résumé

Notre travail s'intéresse à l'étude de la qualité des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation dans la commune de Daya Bendahoua wilaya de Ghardaïa durant la période d'hiver 2022. Notre approche méthodologique est d'étudier la qualité physico-chimique et bactériologique de ces eaux afin de comparer ces résultats avec les normes de REUE, FAO et les normes Algériennes et de déterminer la classification de ces eaux.

Il s'agit d'un échantillonnage de l'eau des puits à partir de différentes localisations dans cette région, puits de Boubrik, puits de Sidi abd elkader, Puits de Shaba elhamra et puits de embouchure de Oued Laadira.

Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons au sein de laboratoire de l'ADE de Ghardaïa en mesurant les paramètres physicochimiques et bactériologique. Après ont comparé avec les normes de REUE, FAO et les normes Algériennes de l'irrigation

Les principaux résultats physico-chimiques de notre étude montrent que la plupart des eaux puits étudiées sont de mauvaise qualité et non compatibles aux normes d'irrigations d'Algérie et de REUE et FAO. Les eaux étudiées dépassent les normes de certains paramètres telles que la conductivité, magnésium, le chlorure et le sulfate. Concernant les résultats des analyses microbiologiques des coliformes totaux et fécaux, streptocoque fécaux les résultats ont montré une apparition de ces bactéries au P3 et P4.

**Mots clé :** puit, analyse physico-chimiques et bactériologique, daya, Ghardaïa.

## Summary

Our work focuses on the study of groundwater quality used in irrigation in the commune of Daya Bendahoua wilaya in Ghardaïa during the winter 2022 period. Our methodological approach is to study the physico-chemical and bacteriological quality of these waters in order to compare these results with the REUE, FAO and Algerian standards and to determine the classification of these waters.

This is a well water sampling from different locations in this region, Boubrik well, Sidi abd elkader well, Shaba elhamra well and Oued Laadira mouth well.

The analyses were carried out on these samples in the laboratory of the ADE of Ghardaïa by measuring the physicochemical and bacteriological parameters. Afterwards compared with REUE standards, FAO and Algerian irrigation standards

The main physico-chemical results of our study show that most of the well waters studied are of poor quality and not compatible with the irrigation standards of Algeria and REUE and FAO. The study waters are exceeded the standards of certain parameters such as conductivity, magnesium, chloride and sulphate. Regarding the results of microbiological analyses of total and faecal coliforms, fecal streptococcus the results showed an appearance of these bacteria at P3 and P4.

**Keywords:** Well, Physico-chemical and bacteriological analysis, Daya, Ghardaia.

## ملخص

يتركز عملنا على دراسة جودة المياه الجوفية المستخدمة في الري في بلدية ضاية بن ضحوة بولاية غرداية خلال فترة شتاء 2022. ويتمثل منهجنا في دراسة الجودة الفيزيائية - الكيميائية و البكتريولوجية لهذه المياه من أجل مقارنة هذه النتائج بالمعايير التي وضعها الاتحاد الأوروبي للمياه والفاو والجزائر للري وتحديد تصنيف هذه المياه. هذه عينات من مياه الآبار من مواقع مختلفة في هذه البلدية، بئر بوبريك، بئر سيدي عبد القادر، بئر شعبة الحمراء و فم واد العديرة. أجريت التحليلات على هذه العينات في مختبر ADE في غرداية عن طريق قياس الخواص الفيزيائية الكيميائية و البكتريولوجية. بعد ذلك مقارنة بمعايير REUE ومعايير الري في منظمة الأغذية و الزراعة، و الجزائر.

تظهر النتائج الفيزيائية والكيميائية الرئيسية لدراستنا أن معظم مياه الآبار التي تمت دراستها رديئة النوعية وغير متوافقة مع معايير الري في الجزائر و REUE ومنظمة الأغذية والزراعة. لقد تجاوزت مياه الدراسة معايير بعض المعلمات مثل الموصلية والمغنيسيوم والكلوريد والكبريتات. بالنسبة لنتائج التحليلات الميكروبيولوجية للقولون الكلي والبرازي، أظهرت النتائج تواجد هذه البكتيريا في P3 و P4.

الكلمات المفتاحية: الآبار، التحليل الفيزيائي الكيميائي والبكتريولوجي، ضاية، غرداية.